REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. Sipos Jenő – Apostol Attila – Molnár János

GYORS PROTOTÍPUSGYÁRTÁS, FORDÍTOTT MÉRNÖKI TEVÉKENYSÉG (REVERSE ENGINEERING), A FEGYVERALKATRÉSZ GYÁRTÁSBAN

Napjaink forgácsoló technikájában megszokott folyamatnak tekinthető a függvényekkel és különböző paramétertáblázatokkal meghatározott, nagy bonyolultságú felületek előállítása. Azonban jelentős területe a forgácsolásnak a szabadformájú felületek előállítása, gyártása. Egyre gyakrabban beszélünk a virtuális termékfejlesztésről, ahol a termék csak a számítógép monitorán jelenik meg, de sokszor elkerülhetetlen a kézzelfogható, kipróbálható és tesztelhető modellek elkészítése a sorozatgyártás megkezdése előtt.

FORDÍTOTT MÉRNÖKI TEVÉKENYSÉG

A gyors prototípusgyártáshoz 3D-s modell szükséges, melyet a következő módszerekkel tudunk előállítani:

1. Számítógéppel támogatott tervező rendszer (CAD), ahol egy szoftver segítségével a CAD modellt felszeleteljük és az így készített rétegekből a gyorsprototípust gyártó gép előállítja az alkatrészt. Ebből az alkatrészből könnyen lehet öntő- illetve fröccsszerszámot készíteni.

2. Sokszor ezeket a szabadformájú felületeket csak digitalizálással tudjuk előállítani. Digitalizáláson egy szabad felület pontjainak valamilyen rendszer szerinti megmérését és az így megállapított koordináták eltárolását értjük. Szabad felületen tetszőleges, akár matematikailag le nem írható felületet értünk. Ilyen felület lehet pl. egy szerszám famintája, egy fegyveralkatrész, vagy más katonai eszközök alkatrészeinek (pld. gázálarc) öntőszerszáma. A háromdimenziós geometriai adatnyerésnek két főbb vonala alakult ki. Az egyik a tapintással, tapintócsúcs segítségével történő adatnyerés, a másik megoldás az érintés nélküli, lézeres 3D-s adatgyűjtés. Mind a két esetben az adatnyerésre szolgáló eszközök (mind a tapintó, mind a lézerfej) a CNC-marógépek főorsójába rögzíthetőek. A legkézenfekvőbb felhasználása a fordított mérnöki tevékenység (reverse engineering) során történő adatnyerés, mely folyamat esetén egy testben, fizikailag már legyártott tárgy méreteiről rögzítjük a pontos dokumentációt az adott tárgy reprodukálásához. Alapvetően a fizikai kiterjedéssel rendelkező, ismeretlen alakú tárgyak geometriailag helyes CAD-modelljének előállításához vezető műszaki folyamat a digitalizálás.

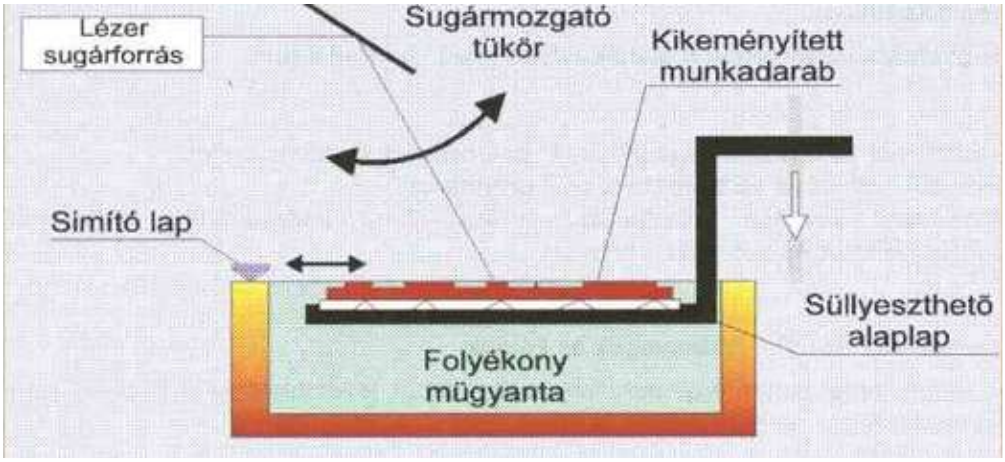
A két módszer alkalmazásának fontossága megmutatkozik napjainkban a következő területeken: alkatrészgyártás, ipari kémkedés, orvostudomány, optika, faipar.

A háromdimenziós geometriai adatnyerésnek két főbb csapásvonala alakult ki. Az egyik a tapintással, tapintócsúcs segítségével történő adatnyerés, a másik megoldás az érintés nélküli, lézeres 3D-s adatgyűjtés. Mind a két esetben az adatnyerésre szolgáló eszközök (mind a tapintó, mind a lézerfej) a CNC-marógépek főorsójába rögzíthetőek. A következőkben néhány gyors prototípusgyártási módot mutatok be, majd ezt követően egy muzeális fegyver alkatrész-gyártási eljárását írom le, melyet a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bolyai János Katonai Műszaki Karon és a Budapesti Műszaki Főiskola Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karon készítettünk el. A markolat digitalizálását tapintóval illetve lézeres letapogatással, majd gyártását CNC 5D-es megmunkáló központon, illetve rétegtechnológia felépítésével készítettük el.

Néhány gyors prototípusgyártási mód[1]

1. Folyékony gyantából lézersugárral rétegenként felépített mintadarab jellemzői:

- Vizuális és funkcionális modell.
- Jó felületi minőség, kiváló részletpontosság.
- Az itt kapott alkatrész a vákuum-öntés, centrifugál-öntés és precíziós öntés alapjaként szolgál.
- Az így előállított alkatrészek ragaszthatók, polírozhatók, lakkozhatók.
- Az alkatrészek kevéssé terhelhetők.

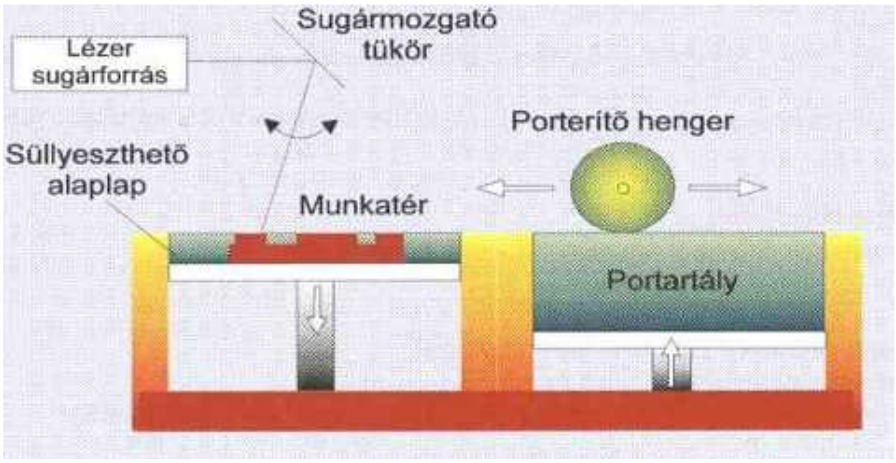


1. ábra: Sztereolitográfiai eljárás (SLA)

2. Lézeres szinterezés (Selective Laser-Sintering) – SLS jellemzői:

- Sokféle anyag megmunkálható: hőre lágyuló műanyag, fém, öntőhomok.
- A poliamidból készített alkatrészek jól terhelhetők és funkcionális modellként is használhatók.
- Homoköntő szerszámok és szerszámbetétek is előállíthatók.

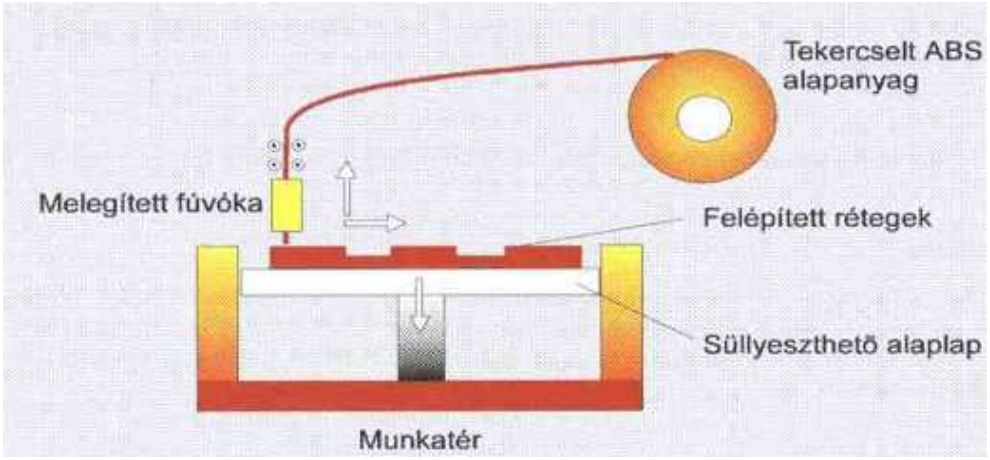
[1] http://www.cadworks.hu/hun/rapid.html



2. ábra: Lézeres szinterezés (SLS)

3. Műanyag-huzalfelrakás (Fused Deposition Modelling) – FDM jellemzői:

- Megömlesztett műanyaghuzalból rétegenként építik fel a mintadarabot.
- ABS-ből készült, nagy szilárdságú alkatrészek.
- Az alkatrészek terhelhetők, funkcionális modellként használhatók.
- Egyszerű eljárás, könnyen kezelhető berendezéssel.



3. ábra: Modellépítés huzalfelrakással (FDM)

A fegyvermarkolat digitalizálása lézer szkennerrel. Roland LPX 250 3D szkennerrel történő pontfelvétel

A szkennelendő objektumot mozgató körasztalból (körmozgásra) és a szkennelést biztosító modulból áll. Ez a blokk tartalmazza a lézerfejet, amit egy pozícionáló motor hajt, bordás gumiszíj segítségével (ez teszi lehetővé a Z irányú elmozdulást).

A szkennelés során az első szempont, hogy a munkadarab befogása a pontfelhő kialakításának szempontjából a legoptimálisabb legyen. El kell dönteni, hogy milyen fő vonal mentén képezzük a szkennelési pályákat. Az alkalmazott szkennelő esetében ki kellett választani, hogy a kör- vagy a síkszkennelési stratégia felel-e meg a legjobban. Néhány próbálkozás után a kapott pontfelhőkből arra

jutottunk, hogy a síkszkennelési stratégiát választjuk. Ennél a technológiánál is nagy hangsúly van a lépésköz beállítás mértékén. A szkennelendő tárgy felületére merőlegesen vagy a Z tengely irányában alakíthatunk ki lépéstávolságokat. Mivel a jelenlegi munkadarab jellege nem követelte meg a legalacsonyabb felbontást, ezért az irreálisan nagy gépi főidő elkerülése érdekében a 0,6mm × 0,6mm beállítást használtunk. A legtöbb esetben nem a mikron pontosság elérése a cél, sokkal inkább a test jellegének megőrzése, amihez a tized mm-es pontosság tökéletesen megfelel.

A szkennelés Dr. Picza 3 Ver. 4.3 nevű programot használtunk, a felületek összeillesztésére pedig a Pixform 2001 szoftvert. A darabot elő kellett készíteni annak érdekében, hogy a lézer ne „tévedjen el" a felületen. Ezt a Diffutherm nevű spray segítségével tettük, mely a felületi repedésvizsgálatok során alkalmazott gázhajtóanyagos előhívószer. A markolat bepermetezése után kis légfújás hatására megszárad a felületen és apró szemcsés homogén bevonatot képez. Ez segít abban, hogy a lézer értékelhető mérést tudjon készíteni, mivel a lakkozott, csillogó felületről nem képes. Természetesen könnyen és tökéletesen eltávolítható volt a feladat elvégzése után.

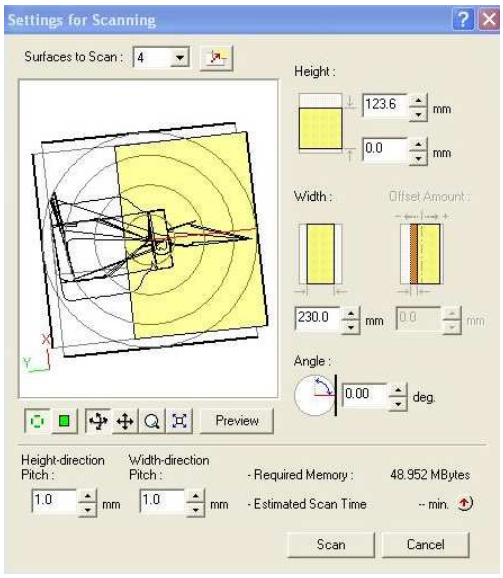
Ezt követően egy kis pofatávolságú (240 mm) satuba (4. ábra) fogtuk, aminek hossza nem akadályozta a körasztal elfordulását a pásztázás során.

4. ábra: Munkadarab befogása

Majd behelyeztük a szkennelő gép asztalára a (satuba fogott, Diffutherm spray-el kezelt) markolatot. (5. ábra)

5. ábra: Előkezelt munkadarab

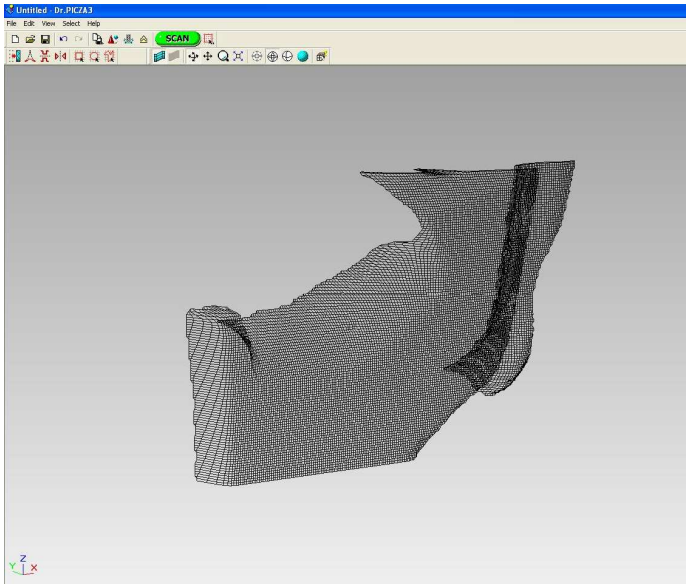
A 6. ábrán látható ablakban beállítottuk a szükséges paramétereket (pásztázási terület magassága, szélessége, a munkadarabra vetített lézer sugár szöge, léptetés értéke). Az alkalmazás kiszámolja a szükséges szkennelési időt. A valóságban másfélszer, néhány esetben kétszer annyi időt vett igénybe ez a folyamat, mint amennyit kiszámolt a szoftver.



6. ábra: Szkennelési beállítások

Több felfogást, magassági értéket, szöget vett igénybe a munkadarab pontos szkennelése, amit mindig a kapott pontfelhőből való következtetések, változtatások tarkítottak.

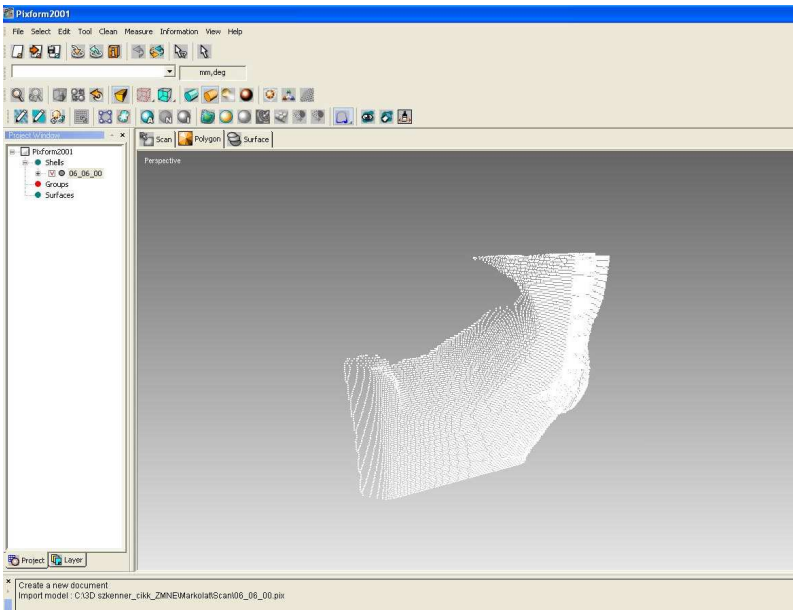
A markolat szabad felületének a Dr. Picza 3 szoftver által előállított pontfelhője a 7. ábrán látható.



7. ábra: Dr. Picza 3 környezet

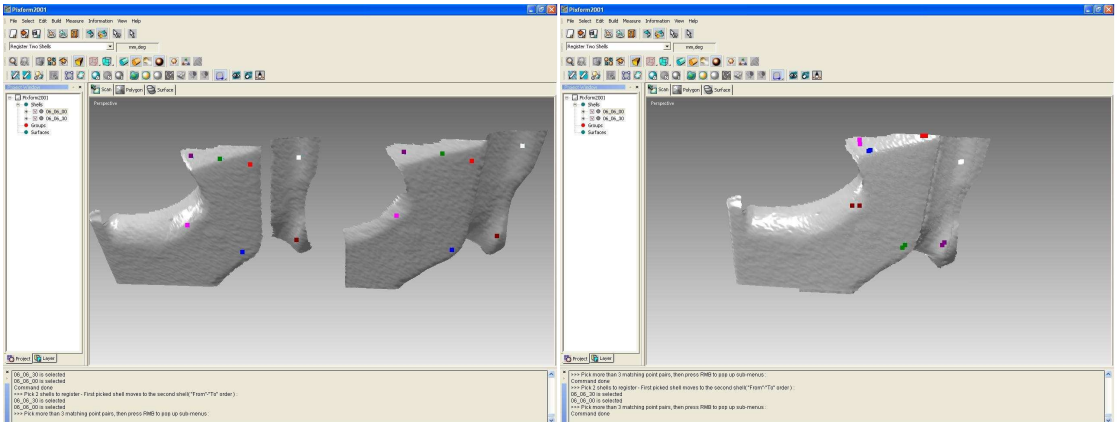
Minden egyes kapott felhő után kétszeri felületi zavarszűrés (Remove Noise) következett. Ezáltal a durva eltérések könnyen kiküszöbölhetővé váltak, melyek egyenkénti eltávolítása igen sok időt vett volna időbe. Következett a kapott felület Pixform környezetbe történő exportálása (8. ábra). Ehhez a

File menü Export parancs kiválasztásával a PIX formátumot választottam. A felugró ablakban a Text opciót kellett megjelölni.



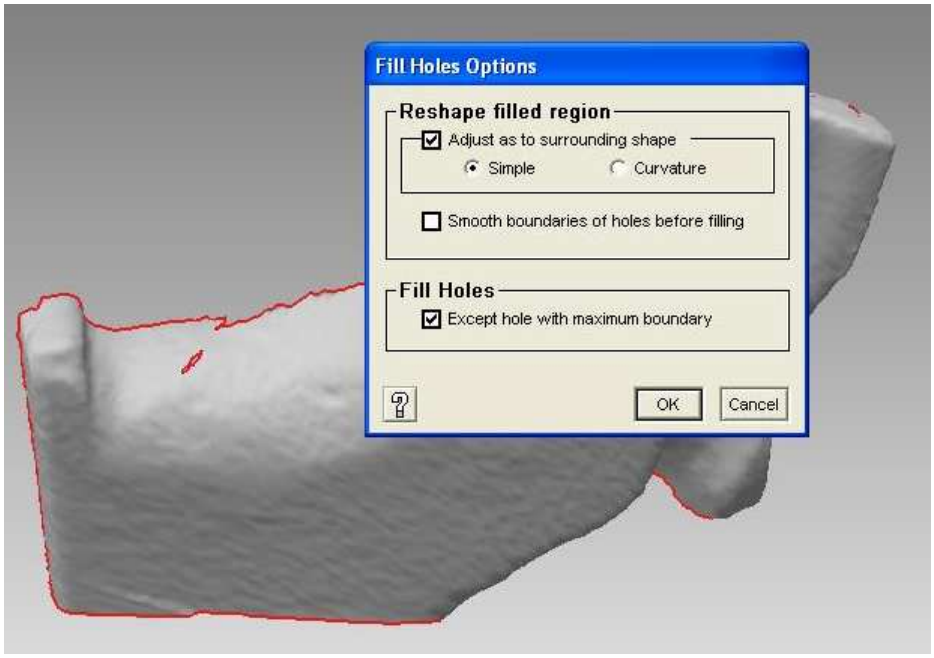
8. ábra: Pixform környezet

A feladat során a markolat oldalait többször is szkennelni kellett a pontos összeillesztés érdekében. Ezeket külön rétegekként kezeltük. Ezeknek egymáshoz képest történő mozgatására, az Edit → Transform → Shell Trackball menüpont alkalmazásával nyílt lehetőség. Miután eldöntöttük, milyen rétegeket egyesítettük, kijelöltük a közös pontokat a felhőn, a Scan munkaterületen a Build→ Register→ 2 shells→ Initial paranccsal. Kijelöltük az egyesíteni kívánt rétegeket, és sorrendben megadtuk a pontpárokat (9. ábra), majd a Build→ Merge shells paranccsal egyesítettük.



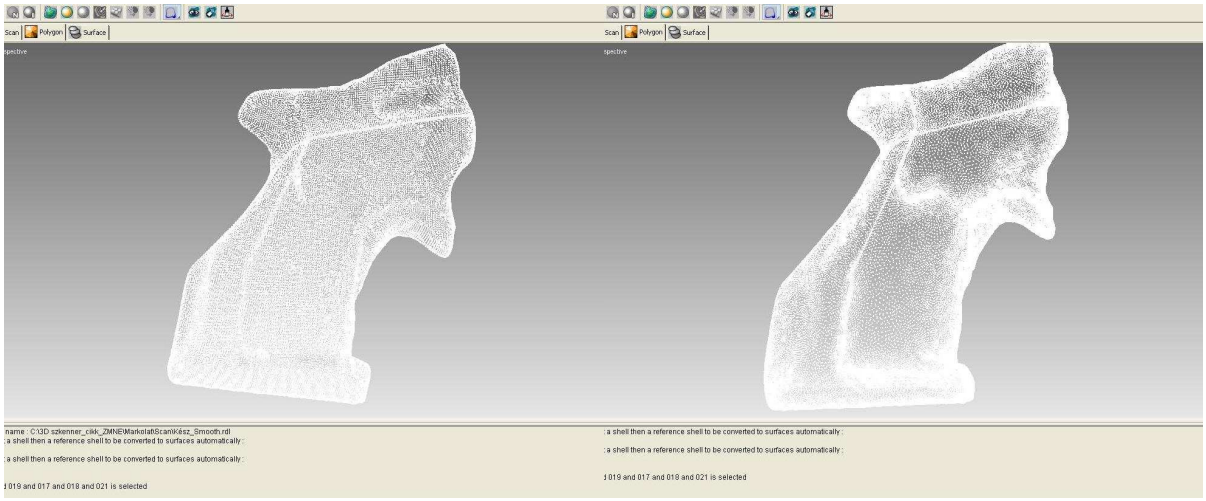
9. ábra: A pontpárok kijelölése majd egyesítése

A minél több megfelelően kijelölt pontpár segítségével szebb, optikailag eltérés nélküli, egyesített felületet kaptunk. A pontfelhő kezelése során többször előfordult, hogy manuálisan (nem szűréssel) távolítottuk el az abban a pillanatban zavart jelentő pontokat. Ezáltal sok esetben Hole (lyuk) keletkezett a felületen. Ezek befoltozására a szoftver Fill Holes Options biztosított lehetőséget (10. ábra).



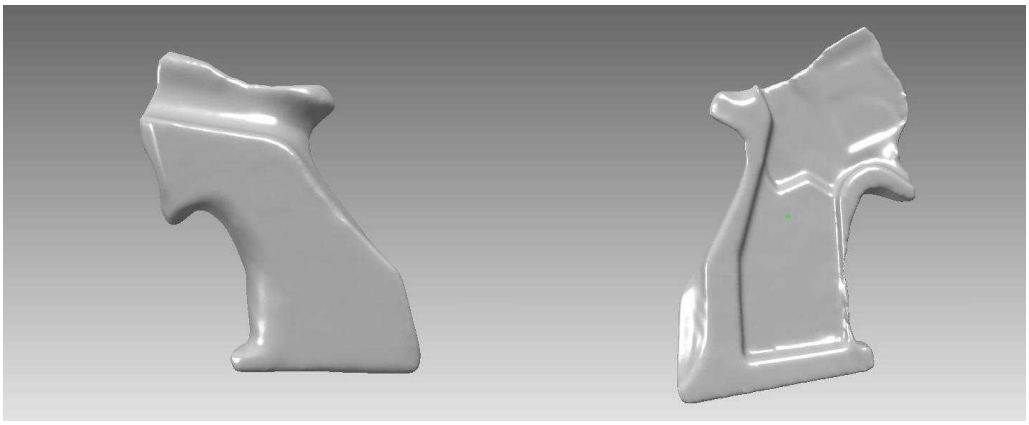
10. ábra: Lyukak kitöltése (kivéve a maximális peremen túl)

A folytonossági hibák kijavítása után következett a Global Remesh paranccsal történő pontfelhő-újrahálózás. Ez a továbbiakban egy teljesen homogén ponteloszlást biztosított (11. ábra).



11. ábra: Újrahálózás előtt és után

A folyamat utolsó lépése egy NURBs (Non-Uniform Rational Basis splines) felületekkel határolt héj létrehozása. Miután minden oldal pásztázása megtörtént, a felület több szűrésen és egyesítésen átesett, elértük a kívánt modellfelületet (12. ábra).



12. ábra: A kívánt pontfelhő

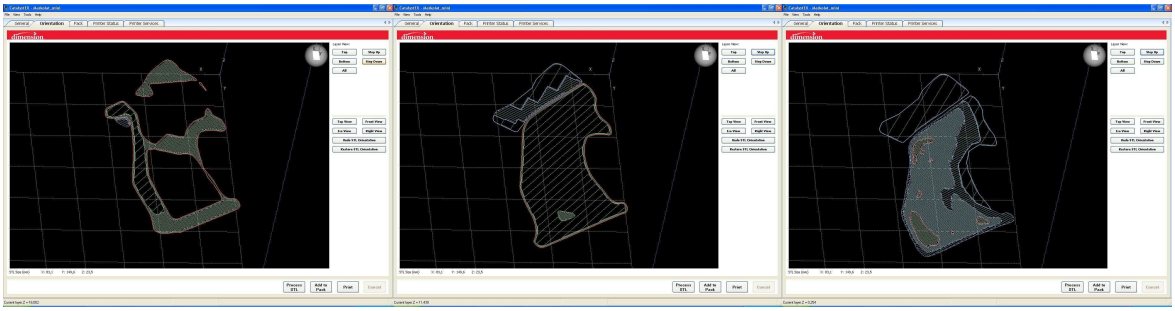
3D Nyomtatás Dimension printerrel

A szkennelés és a mérethű modellfelület leképezése után következett az utolsó fázis, a 3D nyomtatás. A nyomtatás lehetőséget biztosít arra, hogy olcsón, és minél gyorsabban reprodukálhassuk a kívánt modelleket műanyagból. A nyomtatás Dimension 3D Printeren (13. ábra) valósítottuk meg közel 5 óra alatt.

13. ábra: Dimension 3D printer

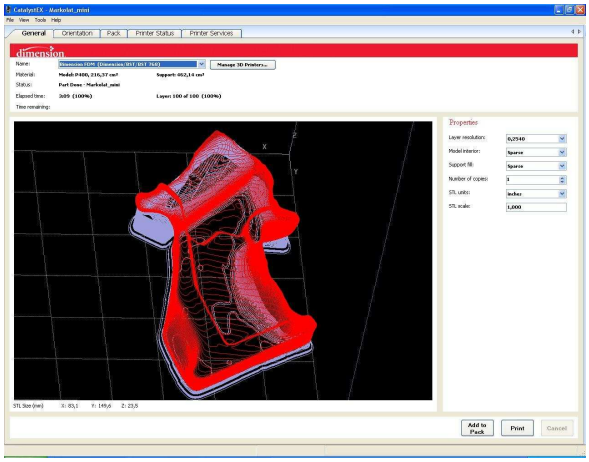
A printer a Stratasys által szabadalmaztatott FDM (Fused Deposition Modeling) eljárást használja. Az FDM technika lényege, hogy a modellt rétegről rétegre haladva építi fel. Az olvasztófej az olvasztott műanyag szálat nagy pontossággal irányítja a megfelelő helyre, ahol az előző réteghez tapadva megszilárdul.

A beolvasott fájlokat a Catalyst szoftver automatikusan felszeleteli és a megfelelő pozícióba rendezi, majd elkészíti a szükséges támaszrendszer struktúrát. Kiszámítja az egyes rétegek megépítéséhez szükséges fúvóka pályákat és a támasz-szerkezetet. A markolatot pontosan 100 darab réteg egymáson történő összeolvasztása eredményezte (14. ábra)



14. ábra: 3 réteg a 100-ból Catalyst környezetben

A Catalyst szoftver működik Windows NT, Windows 2000 és Windows XP operációs rendszereken is. A 15. ábrán látható oldalon teljes körű információkat kaphattunk a felhasznált alapanyagról, a rétegfelbontásról és a fontosabb paraméterekről. A szoftver automatikusan elkészíti az építési útvonalat, amit a Dimension olvasztófejének követnie kell.



15. ábra: Catalyst General fül

Az ABS (akrilnitril-butadién-sztirol) nevű anyag (amely tekercselve helyezkedik el egy öntöltő kazettában) az olvasztófejbe töltés után, félfolyékony állapotba hevítve kerül elhelyezésre, rendkívül pontos, vékony rétegekben. Az ABS-ből készült prototípus szilárdsági mutatói több mint 80%-os szintet érnek el a fröccsöntéssel előállított késztermékek mért jellemzőihez[2] viszonyítva. Az ABS több színben megrendelhető, a szabványos színek: fehér, vörös, kék, zöld és sárga.

Az alulról felfelé való építés során előfordul, hogy egy réteget - az építendő alkatrész formájából adódóan - a levegőben, az előző réteg felett kellene elkezdeni. A problémát az ideiglenes támaszrendszer (13. kép) oldja meg, amelynek geometriáját a feldolgozó szoftver határozza meg önműködően. Ez a végén, az építőkamrából történő kivétel után, eltávolításra kerül kézzel (szárazon) (14. kép), vagy szappanos vízben, kioldással.

Ismerve az ABS tulajdonságait, marással, fúrással, homokfújással, fémbevonással tovább alakítható lenne a reprodukált markolat, de utómunkálatra nem volt szükségünk.

[2] http://www.muanyagesgumi.hu/archive/M399.pdf

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Gépgyártás szaklap XLIX. Évfolyam, 2009. 1. szám 38. old.
[2] http://www.technorg.hu/Ortoped_Hun.htm
[3] FALK GYÖRGY: A Rapid Prototyping és 3D-s szkennelés a terméktervezés szolgálatában, 2004.
[4] http://ccd.mcse.hu/ccdalap/alap2.html
[5] http://www.digitweb.hu/termékek/LPX-250
[6] http://www.muanyagesgumi.hu/archive/M399.pdf
[7] http://www.dimensionprinting.com/

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. Balaskó Márton - Vigh Zoltán

A HELIKOPTER FORGÓSZÁRNYLAPÁTOK RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATI EREDMÉNYEINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Kivonat

A Budapest kutató reaktor neutron radiográfiai állomásán végzett állapot meghatározó munka során, az Mi-8, Mi-17 és Mi-24 típusú helikopter forgószárnylapátokon végzett vizsgálatok közben szerzett tapasztalatok alapján, létre hoztunk, egy referencia hibákat tartalmazó minta csoportot, amelyeken az olasz kollegák a saját laboratóriumukban, az általuk használt mérési technikákkal igyekeztek kimutatni a nálunk kialakított eltéréseket.

1. Bevezetés

A MH RMSZF és a TH megbízásából 28 db (Mi-8, Mi-17 és Mi-24) helikopter forgószárnylapátot vizsgáltunk át a Budapest kutató reaktornál neutron- és röntgen radiográfiával, valamint rezgés diagnosztikával. A mérési eredmények katonai titkot nem képező részeit hazai és nemzetközi tudományos konferenciákon ismertettük, illetve hazai és nemzetközi tudományos publikációkban tettük közzé [1–13].

A NATO Research and Technology Organization (RTO) 2005-ben, Budapesten rendezte meg az évenkénti általános plenáris ülését. Ennek szatelitjeként számos tudományos szekcióban folyt egyidejűleg, az aktuális eredményeket ismertető előadás sorozat. Az Advance Vehicle Technology (AVT)- 128 keretében a forgószárny lapátokkal kapcsolatos mérési technikák fejlesztési irányai voltak napirenden, amelyben öt magyar előadás hangzott el. Az érdeklődőknek szakmai kirándulásként megmutattuk a Budapest kutató reaktornál kiépített mérőhely együttesünket is. Az olasz delegáció élénk érdeklődést mutatott az eredményeink iránt. Ezt követően felmerült az igény, hogy a mi mérési módszereinkkel feltárható hibákat, az ő vizsgálati technikáikkal vajon lehet-e azonosítani. Így jött létre a HU-AVT-01 projekt, amelyet 2005 és 2006 év során hajtottunk végre. Célunk az volt, hogy az általunk mesterségesen generált és a mi neutron- és röntgen radiográfiával (NR és XR) beazonosított hibahelyeinket az olasz kollegák is behatárolják az ő röntgen radiográfiai, termográfiai és ultrahangos (UH) módszereikkel. Természetesen a teljes méretű forgószárnylapátokon végezhető munka lehetősége fel sem merült, a bonyolult szállíthatósági feltételek miatt. Ezért a referencia hibákat, lejárt felhasználási idejű, tartalék rekeszekben hoztuk létre. Öt rekeszt alakítottunk át erre a célra, amelyekben hibaként fém szilánk behatolásokat, gyanta dús méhsejt szerkezeti elemeket, víz beszivárgásokat és hátoldali ütődéseket hoztunk létre, különböző kombinációkban.

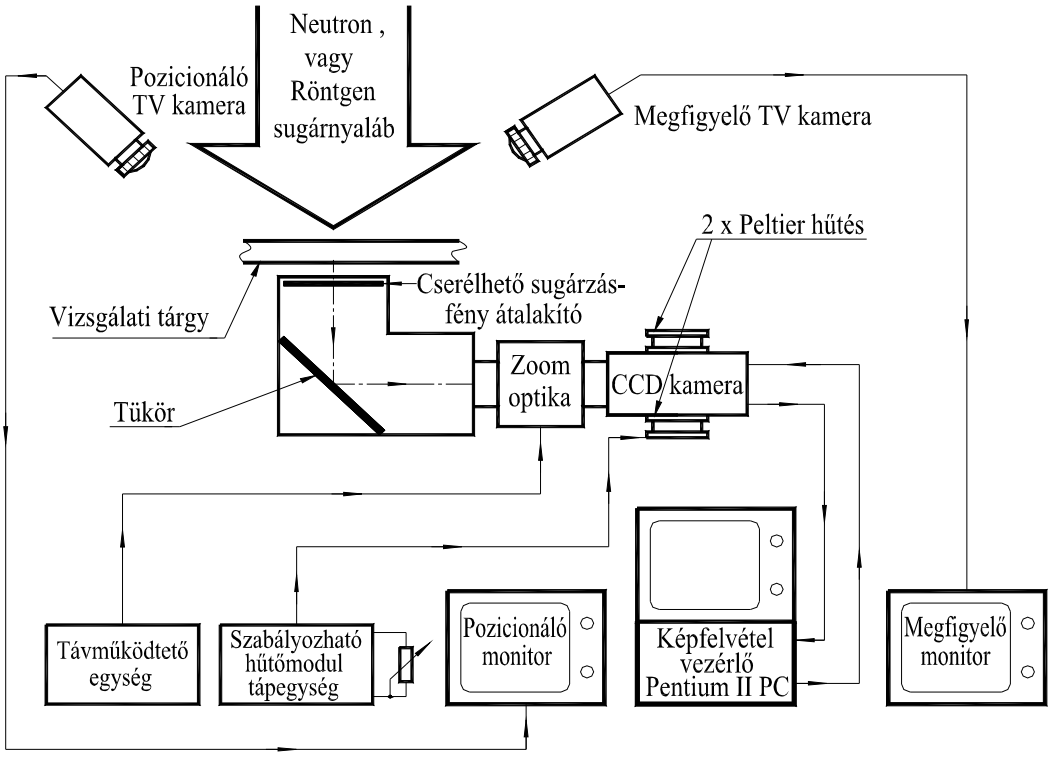
2. Mérési technikák

2.1. Mérési technikák a Budapest kutatóreaktornál

A megfelelő hiba kombinációkkal ellátott referencia tárgyak vizsgálatát a Budapest kutatóreaktor 2. számú vízszintes csatornájánál telepített Radiográfiai állomáson végeztük el [1]. A mérőhelyen lehetőség van, a tárgyak digitális röntgen- és digitális neutron radiográfiai (DXR), (DNR) módszerekkel történő tanulmányozására. A neutron radiográfiai vizsgálatok végzésére alkalmazott neutron nyaláb fluxusa, a kollimáció után 10^8 n·cm^{-2}·sec^{-1}, átmérője 220 mm volt. Az ennél nagyobb méretű tárgyak letapogatására szolgáló, távvezérelt mozgató mechanizmusunk 10 m hosszú, 700 mm széles és 200 kg súlyú eszközök tanulmányozását teszi lehetővé. A röntgen radiográfiai felvételekhez egy Szuper Liliput típusú hordozható, ipari röntgen készüléket helyeztünk a sugárnyaláb pozíciójába, és azzal készítettük el a felvételeket.

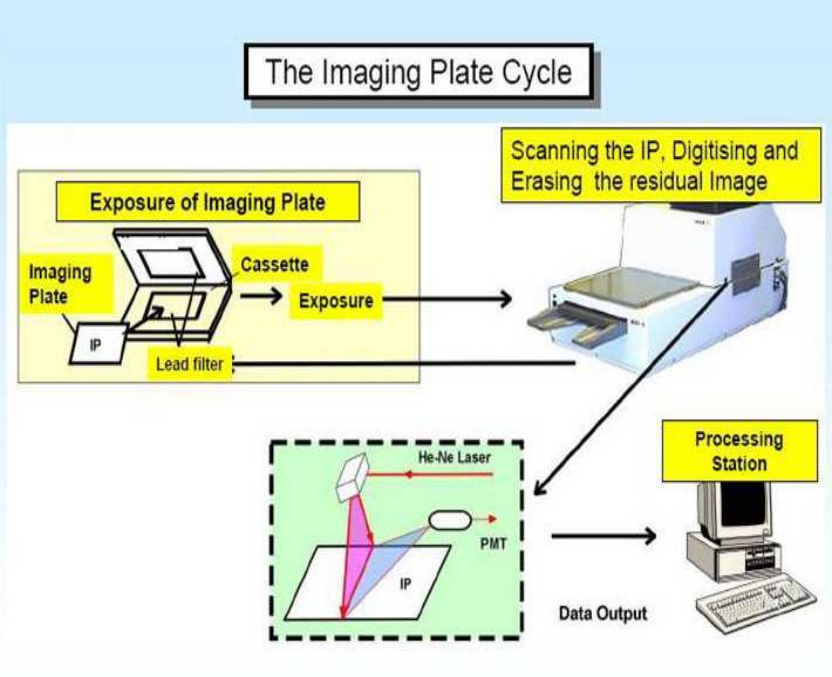
2.1.1. Neutron radiográfiai vizsgálatok a Budapest kutató reaktornál

A neutron radiográfiai mérőhely digitális radiográfiai képfelvevő rendszerének vázlata az 1. ábrán látható. A vizsgálati tárgy neutron sugárzás által keltett árnyképét a ZnSAg/Li^6 tartalmú szcintillációs lemez alakítja fénnyé, ez a kis intenzitású fény, egy tükörről reflektálódva kerül a képalkotó, távvezérelhető zoom optikával felszerelt nagyérzékenységű CCD kamerába, amelyet kétkörös Peltier - elemes hűtőmodullal szereltünk fel. A képalkotási idő 40 msec és 400 sec között változtatható.



1.ábra. A radiográfiai mérőhely képfelvevő rendszerének vázlata

A felvétel digitalizált képe a vezérlő PC monitorán jelenik meg és egyidejűleg DVD digitális képrögzítővel, illetve hagyományos S-VHS videó magnóval is rögzíthető. A pozicionáló kamera segítségével állíthatók felvételi helyzetbe a soron lévő képmezők. A mérőhelyen belüli mozgásokról a megfigyelő kamera szolgáltat információt, így elkerülhetővé válnak a nem kívánt ütközések. Ennek a képfelvételi technikának jelentős hiányossága, hogy a mérőhelyre jellemző geometriai életlenség, összeadódva a sugárzás-fény átalakító- és az optikai rendszer felbontási hibáival, nem teszik lehetővé a 0,25 mm-nél kisebb eltérések észlelését (vékony felrepedést). Rendelkezésünkre áll egy másik technika, amely hasonló a hagyományos radiográfiai filmes módszerhez, statikus, állóképes felvételek (felvételi idő ~1 perc) készítésére alkalmas. A vizsgálati tárgy radiográfiai árnyképe, elektromos töltés képként kerül megörökítésre egy speciális anyagokat tartalmazó, imaging plate (IP) lemezre. A sugárzás által megvilágított lemezt egy letapogató egységbe kell helyezni, ahol egy He-Ne lézer sugarával, egy galvanikus tükör közreműködésével, pixelről-pixelre (pixel méret: 50x50 μm^2), kiolvasásra kerül (~3 perc) a töltés kép és a felvillanó fény információkat egy speciális multiplier érzékeli, és a így keletkező jelek megfelelő processzálása után, az egység monitorán megjelenik a vizsgálati tárgy radiográfiai képe. Lehetőség van a különböző képfeldolgozási eljárások alkalmazásával a radiográfiai kép optimalizálására. Az IP lemez kiolvasás után törölhető (~8 perc), legalább 1000-szer újra használható. A rendszer működési vázlatát a 2. ábra szemlélteti.

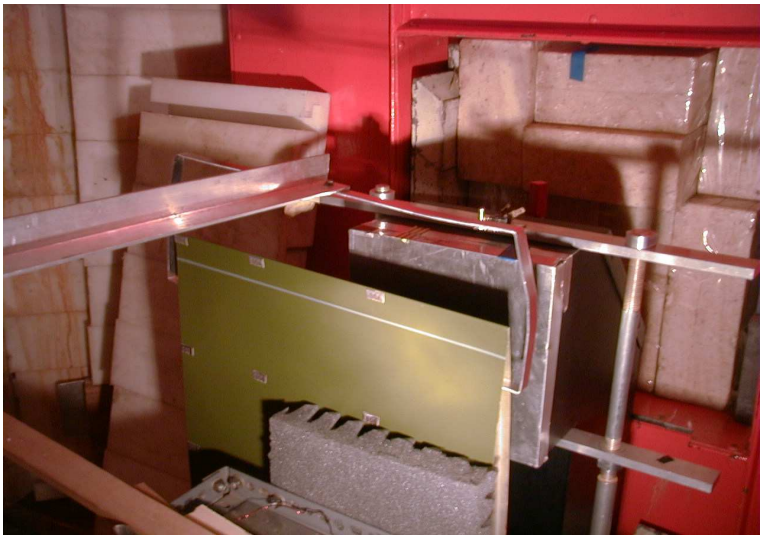


2. ábra. Az IP technika működési vázlata

2.1.2. Röntgen radiográfiai vizsgálatok a Budapest kutató reaktornál

A röntgen radiográfia alkalmazásakor a képalkotási síkban lévő ZnS tartalmú, LGG 400 típusú szcintillációs lemez alakítja fénnyé a röntgen sugárnyaláb alkotta képeket, amelyeket a Photo Science CCD, nagyérzékenységű tv kamera tesz láthatóvá, a neutron radiográfiai képalkotás metódusával

azonos módon. A 3. ábrán az egyik referencia tárgy látható a röntgen radiográfiai felvétel során, amint a jobbra megfigyelhető fékező elem a felvételi pozícióban rögzíti. A felvételeket 50 kV; 3 mA röntgen teljesítmény mellett, 15 másodperces megvilágítási idővel készítettük.



3. ábra. Referencia tárgy rögzítése a felvételi pozícióban

A sugárforrás és a konverter lemez közötti távolság 2 méter volt. Természetesen a felbontás javítása érdekében a röntgen radiográfiai munkák során is használhatjuk az IP technikát, hiszen erre a célra gyártják az MS sorozatú IP lemezeket.

2.2. Mérési technikák a Kémiai Laboratóriumban

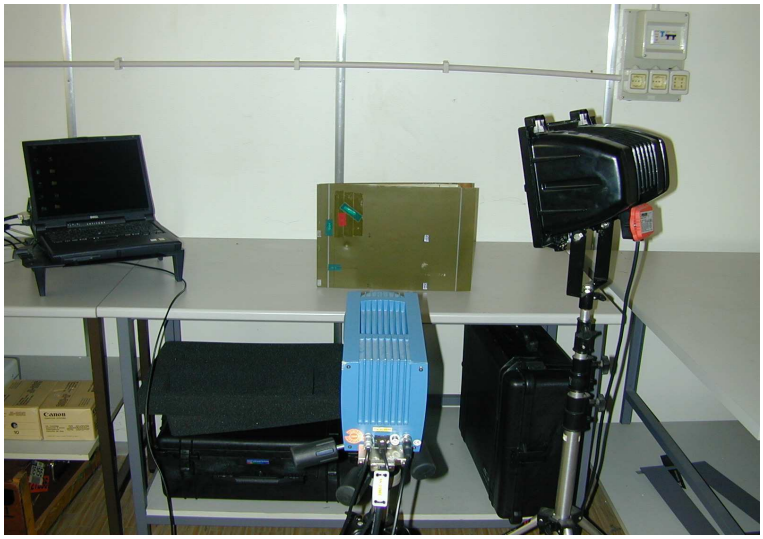
2.2.1. Röntgen radiográfiai vizsgálatok a Kémiai Laboratóriumban

4. ábra. Gilardoni Radiolight típusú röntgen generátor fényképe

A Kémiai Laboratóriumban készült röntgen radiográfiai felvételek a 4. ábrán látható Gilardoni Radiolight típusú röntgen generátorral készültek. A forrás-film távolság 0,8 méter volt. Az alkalmazott

70 kV; 5 mA röntgen teljesítménnyel 3 perces megvilágítási időre volt szükség AGFA D4 24x18 filmek esetén.

2.2.2. Termográfiai vizsgálatok a Kémiai Laboratóriumban

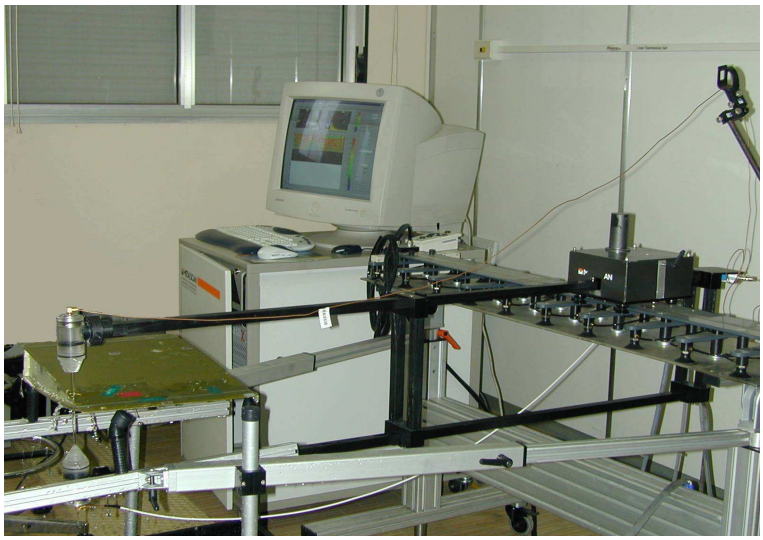


5. ábra. A termográfiai mérési elrendezés a Kémiai Laboratóriumban

A Kémiai Laboratóriumban, az 5. ábrán látható összeállítással végezték a termográfiai vizsgálati munkát. Az infra kamera típusa Cedip Jade III. volt, amely sávszélessége 3-5 mikrométerig terjedt, egy Zeiss gyártmányú, 25 mm-es fókusz távolságú, 18^ox18^o – os látószögű optikát használtak hozzá. A megvilágítóként használt lámpa teljesítménye 1000 W volt, amely maximum 50 C^o-ra tudta felmelegíteni a vizsgálati tárgyat.

2.2.3. Ultrahang vizsgálatok a Kémiai Laboratóriumban

A 6. ábrán látható Metalscan Galaxy típusú berendezésen végezték a Kémiai laboratóriumban az UH vizsgálatokat. A készülék frekvenciája 1 MHz volt C-scan amplitudó üzemmódban, 20 mm/sec letapogatási sebesség és 1x1 mm^2 letapogatási felbontás mellett. A berendezés alkalmas a ”pulse-echo” és a ”transzmissziós” technika használatára. A mi referencia mintáink bonyolult felépítése (a rekesz két borító lemeze közötti térrészt kitöltő méhsejt szerkezet) által keltett sok reflexió (nagyon legyengítette a visszaverődő UH energiát) miatt a ”pulse-echo” technikát nem lehetett alkalmazni. A ”transzmissziós” technika használata során az UH energiát a felső víz sugár továbbította a vizsgált referencia tárgyhoz, míg az átjutott energiát, az alsó víz sugár csatolta ki az érzékelőhöz.



6. ábra. A Metalscan Galaxy típusú Ultrahang vizsgáló berendezés fényképe

3. Referencia tárgy család

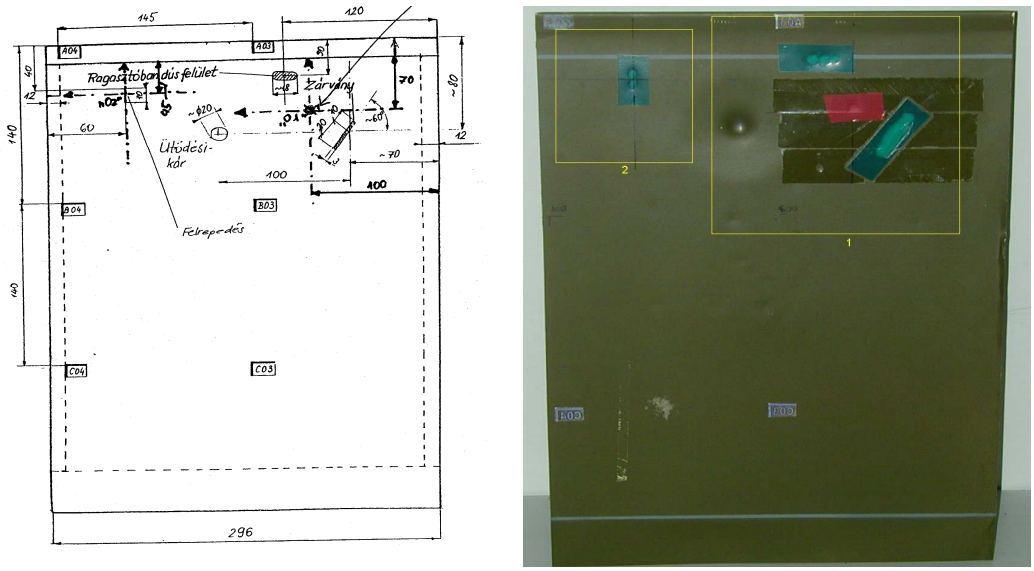
A referencia tárgy család tervezése és kialakítása során mindig arra törekedtünk, hogy a hibahelyek alakjai, térbeli elrendezésük, a radiográfiai vizsgálataink során tapasztalt, valósághű hiba formációkhoz hasonlóak legyenek. A modellezésekhez felhasznált anyagok is mind a forgószárny lapátok gyártástechnológiájában és javítás technikájában használtak közül kerültek ki. A referenciahibák előállítására az MH RMSZF rendelkezésünkre bocsátott, az Mi-24 típusú helikopter forgószárny lapátok javítására alkalmas, lejárt felhasználási idejű, de újszerű állapotban lévő rekeszeket. Ezekből választottunk ki öt darabot, a I./1 jelzést kapta a tényleges szektor kiosztásban az 1-es pozícióban lévő rekesz, a I./2 jelzést kapta az 1a pozícióban lévő rekesz, a I./3 jelzést kapta a 2-es pozícióban lévő rekesz, a I./4 jelzést kapta a 3-as pozícióban lévő rekesz, míg a I./5 jelzést kapta a 13-as pozícióban lévő, kiegyenlítő lemezes rekesz.

A kiválasztott rekeszek különböző méretűek és eltérő felépítésűek, amellyel az volt a célunk, hogy tanulmányozni tudjuk az egyes hiba jelenségek észlelési lehetőségeinek változásait, az eltérő geometriai paraméterekkel rendelkező rekeszekben. A I./1 és I./2 rekeszeket három sávra (A, B és C), valamint két oszlopra, azaz hat képmezőre osztottuk, míg a I./3, I./4 és I./5 rekeszeket három sávra (A, B és C), valamint három oszlopra, azaz kilenc képmezőre osztottuk, amint az a 7., 8. és 9. ábrán látható. A képmezők mérete $146 \cdot 140$ mm^2 és a jobb felső sarkában mindegyikük hordoz egy képmező azonosítót. A képmező azonosító jobb felső sarkában, egy a rekesz képek összeállításához szükséges illesztő derékszög elem figyelhető meg, míg a három karakterből az első egy betű (A, B és C), amely az adott sávra utal, a másik kettő pedig a képmező oszlop számát adja meg. A hiba tervezés során figyelembe vettük a nemzetközi szakirodalomban [14] megjelent közleményeket és az azokban ismertetett hibasajátosságokat, valamint a saját vizsgálati munkánk tapasztalatait. Ezeket az I. táblázatban foglaltuk össze.

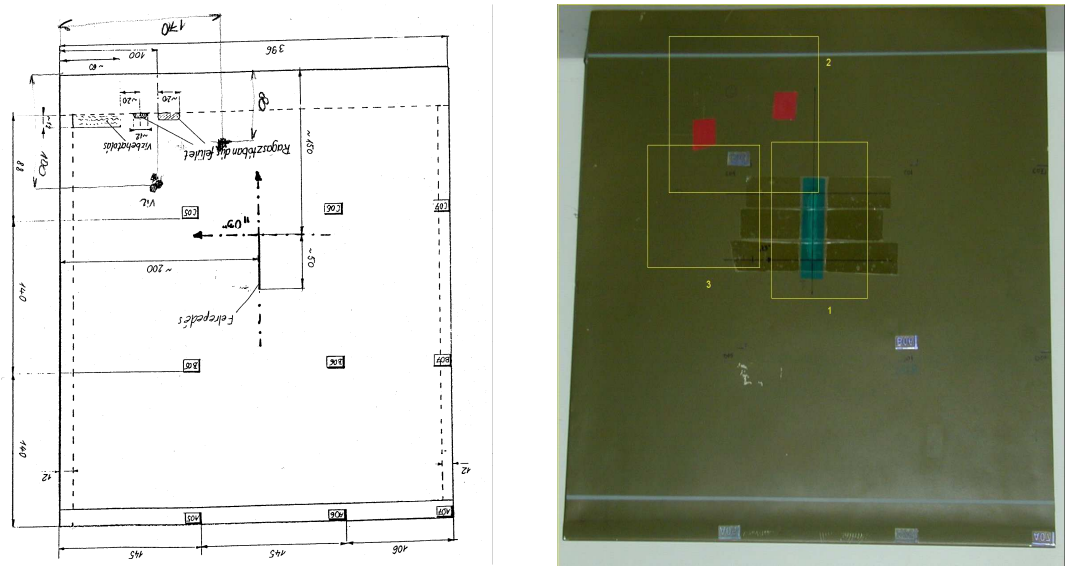
Hiba	Leírás
Rétegelválás	Rétegelválás, egy réteg lapjainak elválása, oka a helytelenül előkészített felület, szennyeződés és idegen anyag beágyazódása.
Bezáródás	Bezáródás, ha idegen anyag beágyazódik, vagy a réteg közé kerül.
Üreg és porozitás	Üreg és porozitás befogott levegő és gázbuborék, okai; párolgó anyagok, a gyanta szennyezett repedése és egyenlőtlen eloszlású nyomás. Üregek gyűlnek össze a gyantában, mivel zacskók vannak a szilárd anyagban.
Gyantában gazdag terület	Gyantában gazdag behatárolt rész, megtöltve gyantával vagy szálakban hiányos. Ezt a hibát helytelen tömöttség, vagy szivárgás okozza.
Gyantahiányos terület	Gyantahiányos terület, elégtelen gyantával behatárolva nyilvánvalóan száraz folt, vagy fénytelen, vagy látszanak a szálak.
Szálak rossz egyezése, gyűrődés, deformáció	Szálak rossz egyezése, elferdülés a rétegeződésben, amely eltér a kívánt elhelyezéstől, vagy a szálak gyűrődése és deformációja. Ezt a hibát helytelen elhelyezés és kezelés okozza.
Száltörés	Törött szálak megszakítottak vagy rosszul elhelyezettek, oka helytelen kezelés, vagy elhelyezés
Elválás	Elválás különböző részek között történik a több elemből álló szerkezeteknél. Kötéshiányt a felület szennyeződése, túlzott nyomás, vagy rossz illesztés okoz.

1. táblázat Kompozit szerkezetek hibáinak áttekintése

Az eredményeink ismertetésére rendelkezésünkre álló hely nem teszi lehetővé, hogy a projekt során készített, valamennyi referencia tárgyon végzett összes mérésünk eredményeit közzé tegyük. Ezért csupán három az I./2., I./3. és I./5. jelű tárgyakon végzett mérési tevékenységünk néhány részletéről számolunk be. Az I./2. jelű tárgy, két megjelölt zónájában (1 és 2) alakítottunk ki definiált hibákat. Az 1 jelű zónában lévő, A03 képfelvétel azonosítóval jelölt területen egy gyanta dús sejt csoportot hoztunk létre a kilépő él alatt, ez alatt jobbra egy kis felületű (2 sejt elem méretű) víz betörést alakítottunk ki a kilépő élnél, ez alatt jobbra egy kis felületű (2 sejt elem méretű) víz betörést készítettünk, ettől jobbra lejjebb, egy repesz behatolását modelleztük egy 3x10x30 mm^3-es fém darab segítségével. Az 1 jelű zóna baloldali határán egy horpadásos ütődést alakítottunk ki, egy 25 mm átmérőjű acélgolyó 5 mm mélyre való benyomásával. A 2 jelű zónában egy felverődés által, a hátlapon keletkezett felhasadást kívántuk feltárni. A felverődés előlapi sérülését gyantás kittel való feltöltéssel tüntettük el. Az I./2 jelű rekesz átalakítási műhely vázlata a 7. ábra baloldali részén, míg az átalakított rekesz fényképe az ábra jobb oldali részén látható.

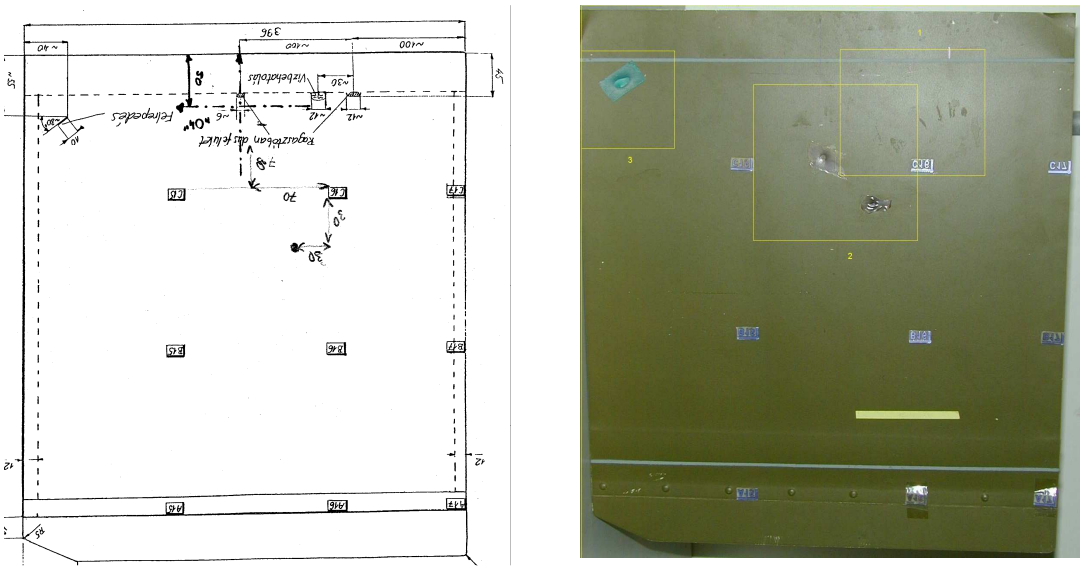


7.ábra. Az I./2 jelű rekesz átalakítási műhelyvázlata és a fényképe



8. ábra. Az I./3 jelű rekesz átalakításának műhely vázlata és a fényképe

Az I./3. jelű rekeszben, amelynek átalakítási műhely vázlata a 8. ábrán baloldali részén, míg az átalakított rekesz az ábra jobb oldali részén látható, három megjelölt zónájában (1, 2 és 3) lettek kialakítva definiált hibák. Az 1 jelű zóna közepén egy 50 mm hosszú és 0,1 mm széles felhasadást készítettünk, amelyet szigetelő szalaggal fedtünk le. A 2 jelű zónában kettő darab gyanta dús (három sejt elem kiterjedésű) helyet készítettünk, valamint a rekesz alap lapja alá egy kis mértékű vízbetörést modelleztünk 5 cm^3 víz befecskendezésével. A 3 jelű zónába egy újabb kis mértékű 2 cm^3-nyí vízbetörést hoztunk létre.



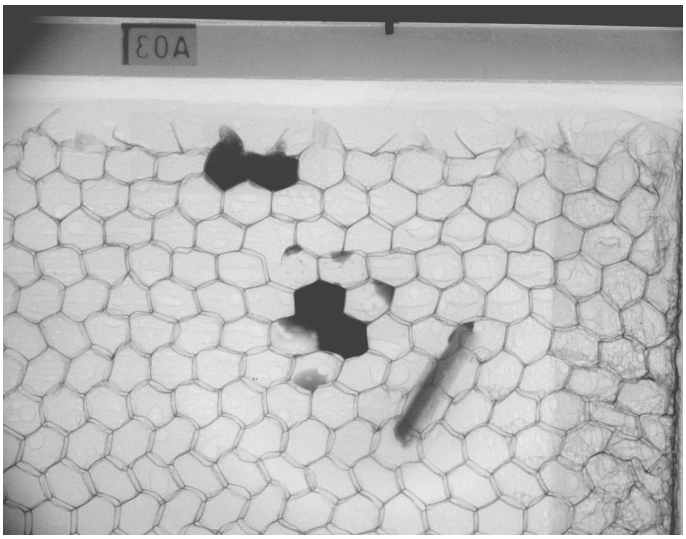
. ábra. Az I./5 jelű rekesz átalakítási műhely vázlata és a fényképe

Az I./5 jelű rekesz, amely átalakítási műhely vázlata a 9. ábra baloldali részén, míg az átalakított rekesz fényképe a jobboldali részén látható, három megjelölt zónájában (1, 2 és 3) hoztunk létre definiált hibákat. Az 1 jelű zónában négy sejt elem kiterjedésű ragasztóban dús területet alakítottunk ki a rekesz alap lapján, a C16-os képmezőben. Feljebb, kis mértékű vízbetörést állítottunk elő. A 2 jelű zónában horpadást idéztünk elő egy 15 mm átmérőjű acél golyó 2 mm mélyre való benyomásával, mellette egy öt sejt elemre kiterjedő vízbetörést hoztunk létre. A 3 jelű zónában egy felületi sérülést alakítottunk ki a C15-os felvételi mezőben.

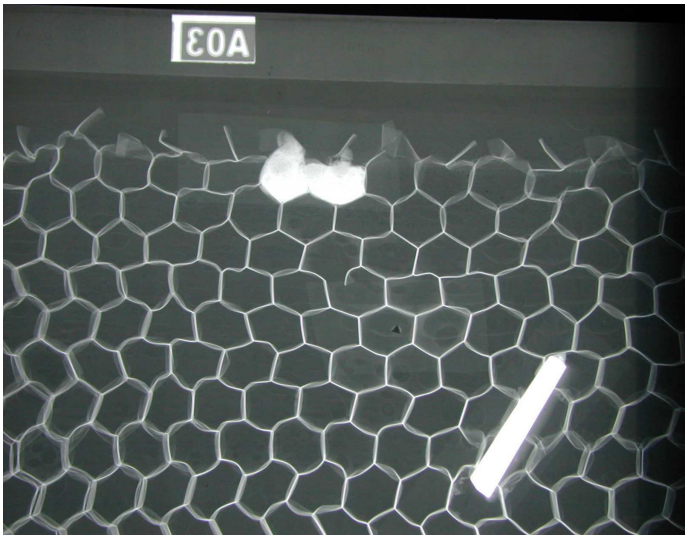
4. Mérési eredmények

4.1. Mérési eredmények az I./2 számú referencia tárgy 1 zónájában végzett mérésekről

A 10. ábrán látható az I./2 jelű referencia tárgy A03 felvételi mezőjének NR képe, amelyen jól látható a kilépő él alatt létrehozott, 2 sejt elem méretű, gyanta dús sejt csoport. A kép közepén helyezkedik el a 2,5 sejt elem méretű víz befolyás, tőle kissé jobbra lejjebb a repesz behatolást modellező fém darab képe rajzolódik ki. A felvétel MS 20x25 típusú IP lemezre készült 50 másodperces megvilágítási idővel. A 11. ábrán az A03 felvételi mező XR képén jól látható a 2 sejt elem méretű, gyanta dús sejt csoport és a repesz behatolást modellező fémdarab.

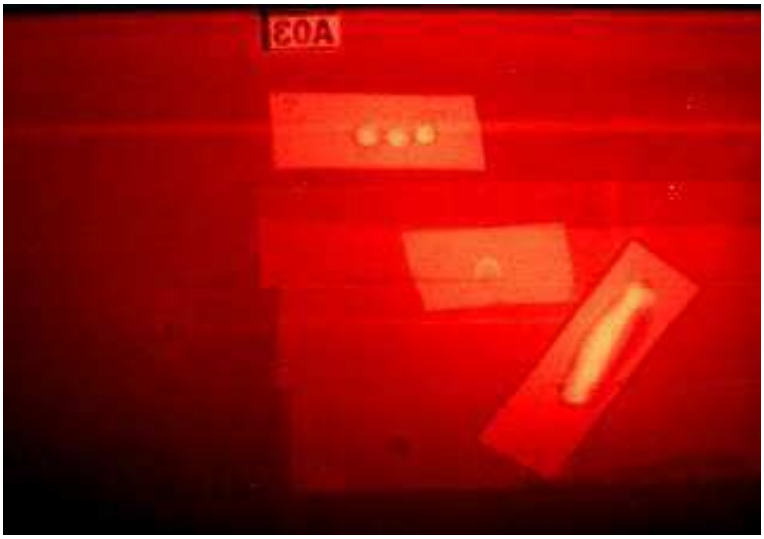


10. ábra. Az A03 jelű felvételi mezőben lévő referenciahibák NR képe

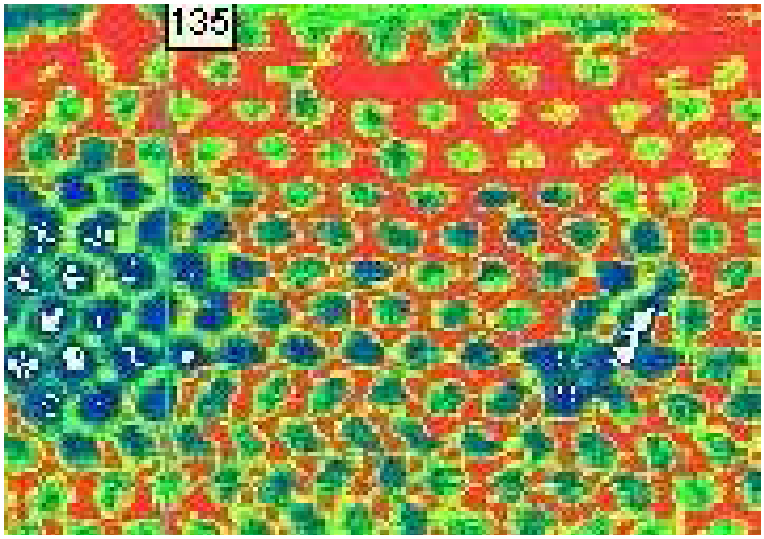


11. ábra. Az A03 jelű felvételi mezőben lévő referenciahibák XR képe

A befecskendezett víz behatolás nem érzékelhető, mert az a szállítás közben szétszivárgott a rekeszben. A 12. ábrán az A03 jelű felvételi mező és annak környezetének termográfiai képe látható és megállapítható, hogy csupán a felületen elhelyezkedő, feltöltő nyílások és az azok elfedésére szolgáló ragasztószalagok, illetve kit-kitöltő anyagok kontúrjai érzékelhetőek.



12. ábra. Az A03 jelű felvételi mezőben lévő referenciahibák termográfiai képe



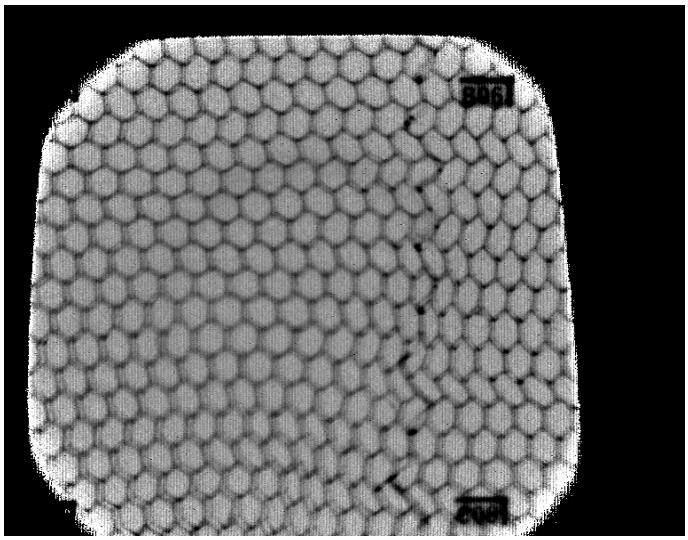
13. ábra. Az A03 jelű felvételi mező egy részében lévő referencia hibák UH képe,
jobbra behatoló repesz, balra víz beszivárgás

A 13. ábra az A03 jelű felvételi mező egy részében lévő referencia hibák UH képe látható. Az ábra jobb oldali részében a repesz behatolás modellezésének eredményeként kialakult színváltozás érzékelhető. A víz beinjektálásához szükséges furat tömítése nem bizonyult megfelelőnek, mert az UH gerjesztő jeleit szállító víz sugár alá tudott szivárogni és annak a jelenlétét mutatja az ábra bal oldalán látható terebélyes, kék folt.

4.2. Mérési eredmények az I./3 számú referencia tárgy 1 zónájában végzett mérésekről

A 14. ábrán látható az I./3 számú referencia tárgy 1 zónájában, a borító lemezen kialakított, 50 mm hosszú és 0,1 mm széles felhasadásról készült NR kép. A borító lemezen lévő tényleges felhasadás az NR képen nem észlelhető, mert a mérőhelyre jellemző geometriai életlenség és a CCD rendszer eredő

képalkotási életlensége, valamint a festék és ragasztó anyagok szórása együttesen meghaladja a rés méretét.

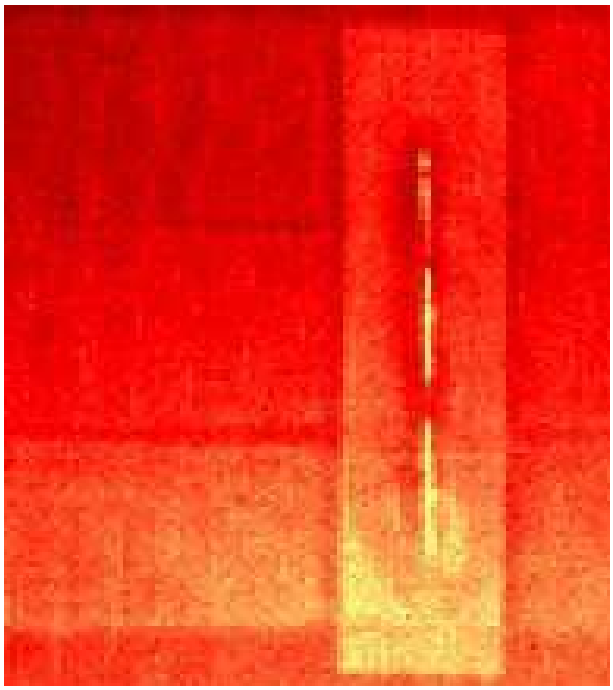


14. ábra. A borító lemez felrepedésének NR képe az I./3 jelű minta 1 zónájában

15. ábra. A borító lemez felrepedésének XR képe az I./3 jelű minta 1 zónájában

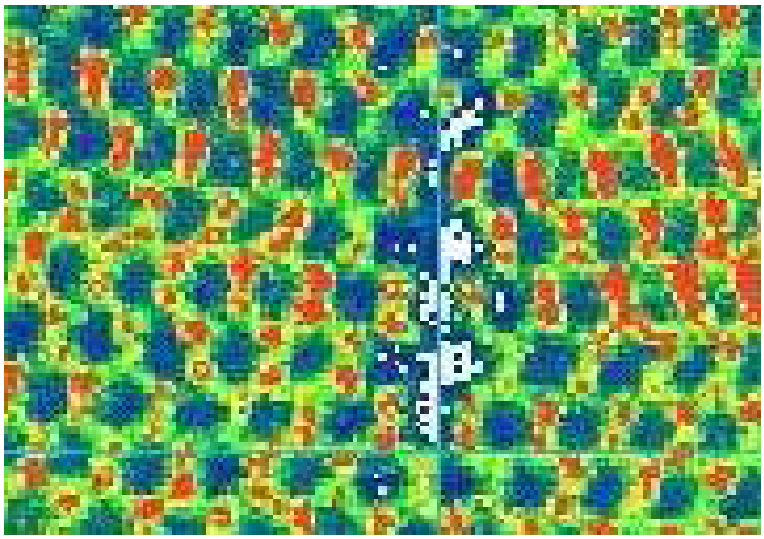
A 15. ábrán látható a Kémiai Laboratórimban készült röntgen felvételen, jól érvényesül a röntgensugarak nagyobb áthatoló képessége a festék és ragasztó együttesén, és így láthatóvá válik a felrepedés, amint ez az ábra jobbról a harmadik sejtoszlopán végig húzódó függőleges egyenesként megfigyelhető. A felvételen érzékelhető, hogy az olasz kollegák egy kissé megbillent állapotban rögzítették a rekeszt.

A 16. ábrán a termográfiai képe látható a borító lemez felhasadásának. A felhasadás lefedésére használt kétkomponensű műgyanta eloszlása helyenként olyanra sikerült, hogy a hő visszaverődése megegyezik a sértetlen borító lemezével. Ezért úgy tűnik, mintha nem lenne folytonos a felhasadás.



16. ábra. A borító lemez felhasadásának termográfiai képe az I./3 jelű minta 1 zónájában

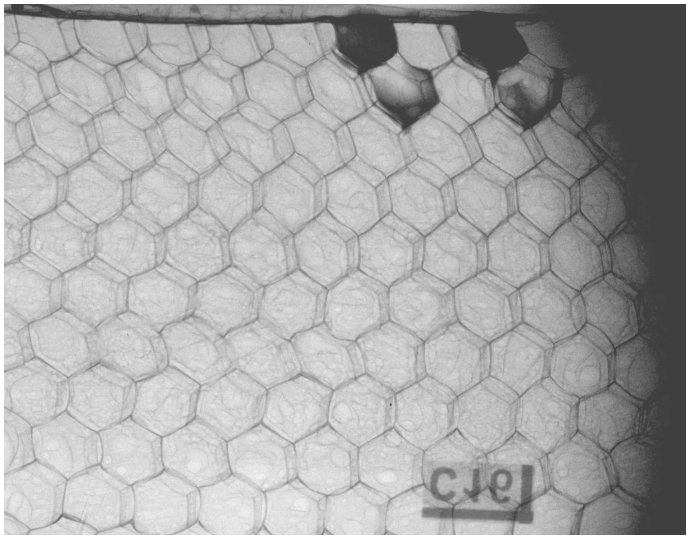
Az UH-val végzett vizsgálat eredménye a 17. ábrán látható. Az ábra közepén húzódó folytonos egyenes jól mutatja a felhasadás elhelyezkedését. A felhasadást lefedő anyag, illetve a takaró szigetelő szalag együttes tömítése sem volt elegendő, mert az UH gerjesztő jeleit kicsatoló víz sugár alá tudott szivárogni azoknak, amint az ábrán látható sok kék foltocska mutatja.



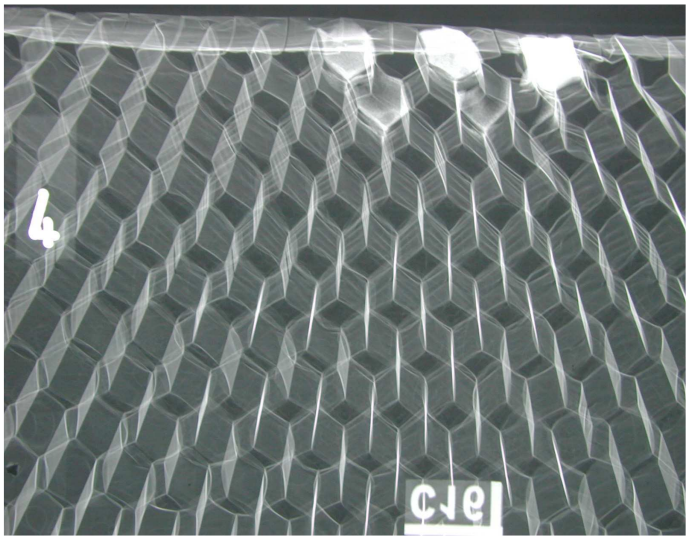
17. ábra. A borító lemez felhasadásának UH képe az I./3 jelű minta 1 zónájában

4.3. Mérési eredmények az I./5 számú referencia tárgy 1-es zónájában végzett mérésekről

A 18. ábrán, a C16-os kép felvételi mezőben elhelyezkedő gyantában dús területet figyelhetjük meg, a rekesz alaplemezén, az ND 20x25 típusú IP lemezre készített neutron radiográfiai felvételen. Ez a sejt elem csoport jól látszik a Kémiai Laboratóriumban készült röntgen felvételen is a 19. ábrán, amelyen a megdöntött rekesz elhelyezés miatt, szinte térbeli elrendeződést figyelhetünk meg.



18. ábra. A C16 képmezőben elhelyezkedő gyantában dús terület NR képe

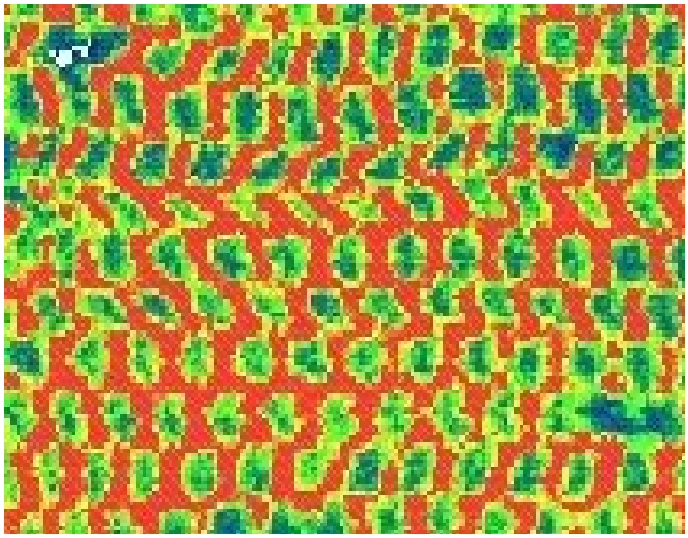


19. ábra. A C16 képmezőben elhelyezkedő gyantában dús terület XR képe

Kevésbé tekinthető sikeresnek a 20. ábrán látható termográfiai felvétel, mert a pozícionálás elcsúszott és a megkívánt célterület kimozdult a felvételről és a gyantában dús területről nem szolgáltat információt. Viszont a C16-os felvétel azonosítótól balra, lejjebb kialakított furatba, frissen bepumpált víz okozta nagyobb hő tehetetlenséget jól érzékelteti a körülötte kialakult sötét terület.

20. ábra. Víz beszivárgás által keltett sötét folt (jobbra) és a horpadás okozta világos terület (balra) a C16-os képmező termográfiai képén

Érzékelhetővé vált a horpadást modellező, golyóbenyomás keltette sötét folt által megemelkedett hőelnyelő képesség, amely a magasabb hőmérsékletű terület világos foltjaként látható, a képazonosítóval egy magasságban balra. A 21. ábra jobb felső sarkában látható a gyanta dús sejt elem csoport ultrahang képe. Sajnos a felvételen további kék foltok is érzékelhetők, feltehetőleg a rekeszen létre hozott, egyéb referencia hibákat elfedő takarások, alacsony vízállósága miatt.



21. ábra. A kép jobb felső sarkában látható a gyanta dús sejt elem csoport ultrahang képe

5. Összefoglalás

A HU-AVT-01 projekt keretében végzett, összehasonlító mérések az alábbi eredményeket szolgáltatták.

A neutron radiográfiai vizsgálatokkal az alábbi rendellenességeket tudtuk kimutatni:

- gyanta- és ragasztó eltéréseket,
- a méhsejt szerkezetben található hibákat,
- a víz behatolások helyeit és kiterjedésüket,
- a behatoló idegen tárgyakat.

Az röntgen radiográfiai felvételek alkalmasnak mutatkoztak:

- a nagy mennyiségű gyanta kimutatására,
- a behatoló idegen tárgyak feltárására,
- a vékony felhasadások észlelésére.

A termográfiai felvételeken jól lehetett látni:

- a felületen rejtetten elhelyezkedő javítási területek pontos kiterjedését,
- a felületen elhelyezkedő horpadások eltérő hő visszaverő képességét,
- a víz behatolások kiterjedését.

Az ultrahangos vizsgálatokkal érzékelni lehetett:

- a behatoló idegen tárgyak pontos helyét,
- a felületen rejtetten elhelyezkedő javítási területek pontos kiterjedését,
- a gyanta dús sejt csoportok elhelyezkedését,
- a víz behatolások eloszlását.

Fel kell hívni a figyelmet, hogy az ultrahangos berendezés energia bevivő - és energia kicsatoló víz sugarainak, a felületi takaró anyagok alá szivárgásai, kissé zavaróan hatottak a mérések kiértékelése során.

Megjegyzés

A NATO AVT Pannelje támogatja az ilyen nemzetközi együttműködéseket, és akár más területeken is meg lehet találni a lehetőségeket, hogy újabb tudományos eredményeket érjenek el a magyar fiatalok (élenjáró témákban diplomaterv - és PhD dolgozatok készítése) és a többi érdeklődők is.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton mondunk köszönetet Dr. Fábián Margit kolleganőnknek értékes munkájáért, amellyel megnövelte ezen írás színvonalát. Továbbá köszönettel tartozunk a Kémiai Laboratórium munkatársainak, akik részt vettek a kísérleti munkában.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] M. BALASKÓ, G. Endröczi, J. Veres, Gy. Molnar, F. Körösi, Research of extension of the life cycle of helicopter rotor blade in Hungary. Proc. NATO conference for Applied Vehicle Technology Panel (AVT), RTO-MP-079(II) ISBN-837-1089-4, Manchester, 7-11. October 2003, pp. SM 39.1-30.15.

[2] M. BALASKÓ, F. Körösi, G. Endrőczi, I. Veres, Gy. Molnár, Helicopter rotor blade study by neutron radiography and vibration diagnostics, Proc. of 7th WCNR Rome, Edited by P. Chirco and R. Rosa, 15-20. September 2002, pp. 613-619.

[3] M. BALASKÓ, Zs. Balaskó, E. Balogh, A. Tanács, E. Katona, A. Kuba, Composition of radiography pictures of whole helicopter rotor blades in Hungary, Proc. of 7th WCNR Rome, Edited by P. Chirco and R. Rosa, 15-20. September 2002, pp. 637-642.
[4] M. BALASKÓ, I. Veres, Gy. Molnár, Zs. Balaskó, E. Sváb: Radiography inspection of helicopter rotor blades, Conf. Proc. 3rd International Non-destructive Testing Conf., Eds.: I.N.Prassianakis, G.C.Papanicolaou, Hellenic Society of NDT Greece, Crete, October 2003, pp. 309-313.
[5] M. BALASKÓ, I. Veres, Gy. Molnár, Zs. Balaskó, E. Sváb: Composite structure of helicopter rotor blades studied by neutron- and X-ray radiography, Physica B, 350, 2004, pp. 107-109.
[6] M. BALASKÓ, E.Svab, I.Veres, Gy.Molnár: Classification of defects in honeycomb composite structure of helicopter rotor blades, Nuc. Inst. and Method A542, Iss. 1-3, 21. April 2005, pp. 45-51.
[7] BALASKÓ M., Veres I., Pogácsás I., Molnár Gy., Sváb E., Vigh Z., Helikopter rotorlapátjainak vizsgálata radiográfiai módszerekkel, Anyagvizsgálok Lapja, Kiadó ATESTOR Kft, Szappanos György, 15. Évfolyam 2. szám, 2006, 37- 41 oldal.
[8] BALASKÓ M., Veres I., Pogácsás I., Molnár Gy., Vigh Z., Mi-8, Mi-17 és Mi-24 tipusú helikopterek forgószárnylapátjainak radiográfiai vizsgálata, "Fél évszázad forgószárnyakon" konferencia előadás (írásban 15 oldal) Kiadó Óvári Gyula, 2005 április 15.CD
[9] M. BALASKÓ, I.Veres, Gy. Molnár, E. Katona, A. Kuba, Zs. Balaskó, E. Sváb: Radiographic Classification of Defects in Honeycomb Composite, AVT Panel Specialist Meeting, Budapest 25-29. April 2005, oral lecture, written version (13 p.) published by NATO RTO on CD.
[10] M. BALASKÓ, G. Endrőczi, Gy. Tarnai, I. Veres, Gy. Molnár, E. Sváb: Non-Destructive Methods (Neutron-, X-ray Radiograpy, Vibration Diagnostics and Ultrasound) in the Inspection of Helicopter Rotor Blades, AVT Panel Specialist Meeting, Budapest 25-29. April 2005, oral lecture, written version (20 p.) published by NATO RTO on CD.
[11] BALASKÓ M., Horváth L., Vigh Z., Pogácsás I.: Kompozit szerkezetek tanulmányozása Komplex Digitális Radiográfiával, Anyagvizsgálok Lapja, MAROVISZ, 18. Évfolyam 1-4 számából válogatás (2008), 21-24 oldal.
[12] M. BALASKÓ, G. Endröczi, Gy. Tarnai, Gy. Molnár, Z. Vigh, E. Sváb: Study of defects in helicopter rotor blades by neutron- and X-ray radiography, vibration diagnostics and ultrasound, Conf. Proc. of WCNR-8, Gaithersburg, USA. 16-19 October, 2006, pp. 304-312 (2008).
[13] M. BALASKÓ, L. Horváth: Survey of the life-condition inspection for helicopter rotor blades by neutron- and X-ray radiography, Chapter to the "Fatigue corrosion" Report of the NATO AVT-140 Panel, Edited by W. Wallace, 2009, p 16 Accepted for publication.
[14] SEM J.K. and EVERETT R. A., In: RTO/NATO, ISBN 92-837-1051-7, 2000, pp. 5.5.21.

Bánsági Zoltán László

TURBINATÁRCSA VÉGESELEMES ANALÍZISE EKVIVALENS ÜZEMMÓDOK MEGHATÁROZÁSÁRA

BEVEZETÉS

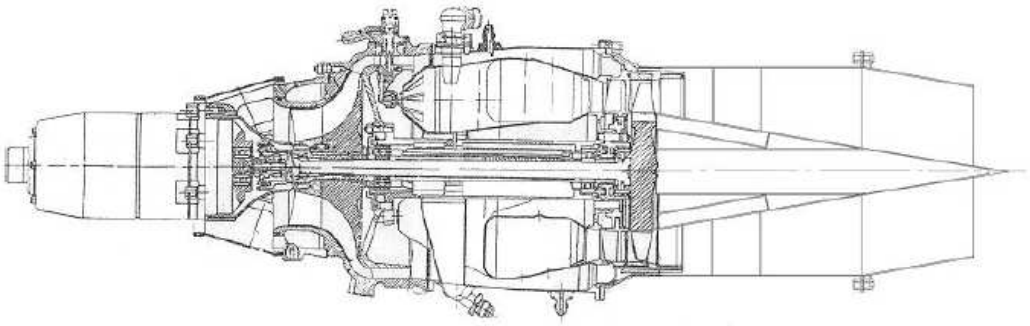
A BME Repülőgépek és Hajók Tanszékén TKT-1 néven egy kísérleti gázturbinás sugárhajtómű került kifejlesztésre, amelyet a MiG-23/Szu-22 típusú harci repülőgépeken rendszeresített TSz-21 típusú indító gázturbinából alakítottak át. Munkám célja, hogy az említett sugárhajtómű gázgenerátor turbinájának járókerék tárcsájában ébredő, a hajtómű indítása során fellépő, időben változó termikus igénybevételek esetén kialakuló feszültségeket meghatározzam. A végeselem program által meghatározott feszültségekből – ekvivalens üzemmód számítás útján – következtetéseket lehet levonni azon időtartományra vonatkozóan, amelyben az említett berendezés biztonságosan üzemeltethető. Erre azért van szükség, mert a TSz-21, mint indító gázturbina eredetileg csak 40-50 másodpercig üzemelt. Ugyanakkor kísérleti berendezésként használva legalább 3-5 perces időintervallumban működik, így szükséges azt tudni, hogy hajtómű hőigénybevételeknek leginkább kitett részegységei mennyi ideig terhelhetők az egyes üzemmódokon. A berendezés ekvivalens üzemmódjainak meghatározásával szeretnék hozzájárulni a hajtómű biztonságosabb és ellenőrizhetőbb működéséhez, valamint a hajtómű üzemidő nyilvántartásának elkészítéséhez.

Ennek a cikknek a keretein belül ismertetem a tárcsa végeselem analízisének főbb lépéseit, a hálózás, a kényszerek és terhelések elhelyezésekor alkalmazott feltevéseimet, beleértve a modellen alkalmazott elhanyagolásokat és egyszerűsítéseket is. Cikkem utolsó részében bemutatom az ekvivalens üzemmódok számításának elméletét, illetve annak főbb törvényszerűségeit is.

A TKT-1 KÍSÉRLETI BERENDEZÉSRŐL

A TKT-1 típusú kísérleti sugárhajtóműves berendezés a BME Repülőgépek és Hajók tanszékén került kifejlesztésre, abból a célból, hogy a kar repülőgépes képzésében tanuló hallgatók annak működésén keresztül megismerhessék a gázturbinás hajtóművek működését és bekapcsolódhassanak a tanszék ilyen irányú tudományos munkájába. A berendezés a már korábban említett TSz-21 típusú indító gázturbina gázgenerátor egységének átalakításával jött létre, melynek részeként a hozzákapcsolódó munkaturbina modul eltávolításra került, mivel az eredeti egység konstrukciójánál fogva tengelyteljesítmény teljesítményt szolgáltatott. Felépítését tekintve egy egyfokozatú centrifugális kompresszorból, a hozzá tartozó axiális diffúzorból, gyűrűs-csöves égéstérből és egy egyfokozatú

axiális turbinából áll. A hajtómű fúvócsöve gázsebesség fokozó redőnyzettel is rendelkezik. A turbina járókerék tárcsájának hűtése kétféleképpen valósul meg, egyrészt a kompresszortól elvett (hűtő)levegő útján, másrészt a tárcsa árammvonalazását is biztosító központi kúp segítségével [1]. Ez utóbbit munkám során nem vettem figyelembe. A hajtómű hosszmetszeti rajza az 1. ábrán látható.



1. ábra - A TKT-1 hosszmetszeti rajza

A VÉGESELEM MÓDSZER

Az 1950-es évektől kezdve a repülőgépek szerkezetének mind bonyolultabbá válásával szükségesnek mutatkozott egy olyan számítási módszer kidolgozása, amelynek segítségével az egyes szerkezeti elemek igénybevételei kis időráfordítás mellett könnyen meghatározhatók. Erre kínált megoldást a végeselem módszer kifejlesztése, amely egyszerűsége révén mára nemcsak a repülőgépiparban, de számos más területen is széles körben alkalmazásra került.

A módszer alapja, hogy egy felmerülő, igénybevételeit tekintve, összetett feladatot egy egyszerűbbel helyettesít, illetve modellez, amelynek segítségével lehetővé válik a feladat közelítő megoldása [3]. A feladat bizonyos, az analízis szempontjából lényegtelen, jegyeinek elhagyásával alkotott modell kialakítása két fő szempont szerint történhet. Az első, hogy az elemzés alapjául szolgáló modell a legjobban közelítse a valós szerkezetet, annak járulékos paramétereivel (peremfeltételeivel) együtt. A második, hogy az elemezni kívánt szerkezet mechanikai tulajdonságai jó közelítéssel, kevés időráfordítás mellett, meghatározhatóak legyenek. A végeselem módszer olyan számítási eljárás, amelynek során a kitűzött feladat megoldása approximációs polinomok segítségével történik [4]. Matematikai megfogalmazásában a mátrixos írásmódra támaszkodik, mely lehetővé teszi a felállított egyenletek, egyenletrendszerek tömörített írásmódját és számítógépi programozhatóságát. Előnye a hagyományos vizsgálati eljárásokkal szemben az, hogy az elemzés tárgyának bármilyen alakja, formája illetve kényszerezése lehet. Ebben a fejezetben a módszer elméleti alapjait ismertetem, annak matematikai apparátusa ismertetésére nem térek ki.

A végeselem módszer rövid ismertetése

A végeselem módszerben a vizsgálat tárgyát véges méretű részekre ún. elemekre bontjuk. Az elemzés során, a feladat típusától, összetettségétől és bonyolultságától függően, különböző méretű és alakú elemek alkalmazhatóak. Az elemek alakját minden esetben az ún. csomópontjai (sarokpontjai) határozzák meg, számukat és típusukat többnyire a vizsgálandó tárgy geometriája szabja meg, valamint az, hogy hány független paraméter szükséges az elemezni kívánt rendszer leírásához. A végeselem módszer felületi és térfogati elemtípusokat egyaránt megkülönböztet, ilyenek például a három, négy illetve sokszög alakú felületi, illetve a tetraéder, hexaéder stb. típusú térfogati elemek. A felsorolt elemfajtákon kívül további speciális típusok alkalmazása is lehetséges, amennyiben ezt vizsgálandó tárgy geometriája megkívánja.

A végeselem módszer segítségével történő feladatmegoldások során egy több lépcsős megoldási algoritmust alkalmazunk, melyben a következő műveleteket végezzük el:

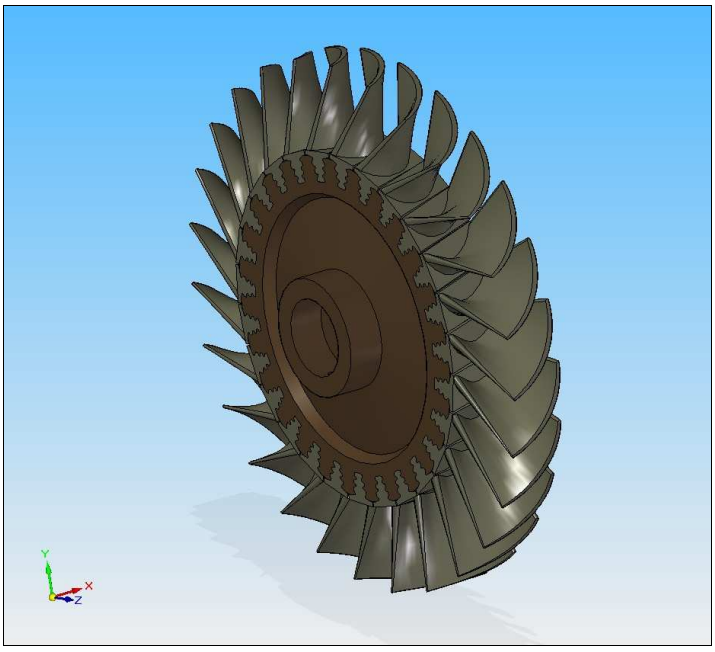
- a szerkezet egyszerűsítése
- a helyettesítő modell meghatározása vagy a megfelelő interpolációs módszer megválasztása
- az elemmerevségi mátrixok és a terhelések meghatározása
- az elemekre vonatkozó egyenletek felírása a feladatot leíró egyenletrendszer összeállításához
- a rendszer megoldása az ismeretlen csomóponti elmozdulásokra
- az egyes elemek igénybevételeinek kiszámítása

A feladatmegoldások mindegyike három probléma valamelyikére, ezek sorrendben a statikus (idő-független) és a sajátérték problémák, valamint az időben változó (tranziens) terhelések vizsgálata [2]. A felmerült esetek megoldására számos módszer kínálkozik, ilyenek például a Gauss, Runge-Kotta, Choleski illetve a numerikus és a véges differencia módszerek is.

A MODELL ELEMZÉSÉNEK ELŐKÉSZÍTÉSE, HÁLÓZÁS

Az elemzés alapjául választott modell

A vizsgálatom tárgyául választott turbinatárcsa számítógépes modellje a munkám megkezdésekor STEP és IGES fájlformátumokban a rendelkezésemre állt, amelyek vizsgálatához az ANSYS 11.0 nevű végeselem szoftver WORKBENCH modulját használtam fel. Az elemzés szempontjából a tárcsa és a lapátok együttes vizsgálatát tartottam a legalkalmasabbnak az munkám elvégzéséhez. Az analízisre kiválasztott modell (tárcsa és lapátok) az 2. ábrán látható.



2. ábra - Az analízis alapjául választott modell

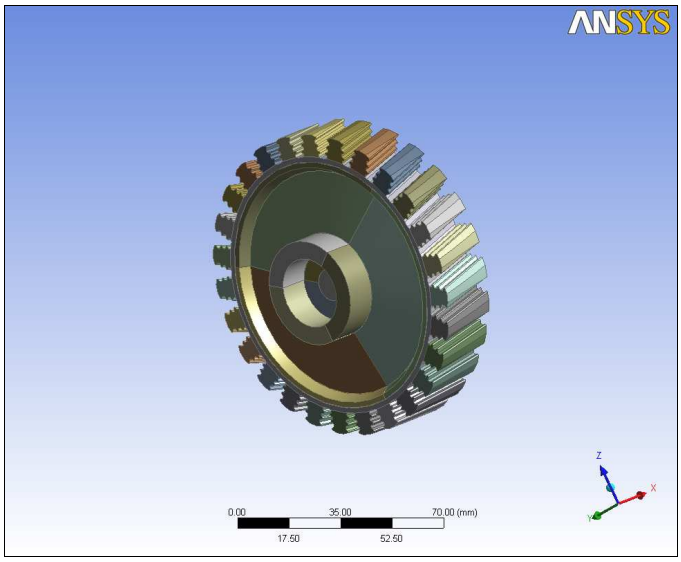
A modell előkészítése a hálózáshoz

A végeselem módszerrel vizsgált testek, rendszerek elemzésének fontos eleme a modell, hálózáshoz való, előkészítése. A mai végeselem programokhoz már elérhetőek olyan hálózó modulok (pl. GAMBIT), melyek az egyes elemek geometriája szempontjából legoptimálisabb hálózási peremfeltételeket illesztik a modell felületére. Mivel az általam végzett analízishez a rendelkezésre álló számítástechnikai kapacitás korlátozott, így az egyes vizsgálatok futási idejének lerövidítése érdekében a tárcsa és a lapátok alkalmas részekre való felbontásával igyekeztem a geometria szempontjából legoptimálisabb hálót elkészíteni.

A tárcsa előkészítése

A turbinatárcsa előkészítését a hálózást megnehezítő, de az elemzés eredményét jelentősen nem befolyásoló szerkezeti részek módosításával kezdtem meg. Így feltöltésre került a tárcsa munkaturbina felé eső oldalán elhelyezett központfurat, valamint annak helyén elhelyezkedő kimunkálást is síkban levágtam, illetve ugyancsak feltöltöttem a tengely csatlakozás helyén lévő átmenő furatot is.

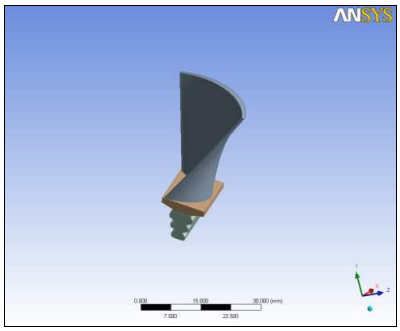
A tárcsa felbontását a fenyőfa-illesztések leválasztásával folytattam. Mivel e testeknek a geometriája alkalmas hexaéder elemekből felépített háló elhelyezésre, mely nagyban lecsökkenti az elemszámot és a vizsgálat időtartamát. A fenyőfaillesztések leválasztása után a tárcsát a lapátok osztásának megfelelően három 120°-os központi szögű részre osztottam fel, valamint a tárcsa geometriájának megfelelő módon a középsíkjukkal egybevágó sík mentén meg is feleztem azokat. További szétválasztást alkalmaztam még a nyomaték átvitel helyén is. A tárcsa felbontásának módja a 3. ábrán látható.



3. ábra - A tárcsa felosztásának módja

A lapátok előkészítése

A lapátok előkészítése esetében is, a geometria szempontjából legoptimálisabb háló elérése érdekében, a modell felosztása mellett döntöttem. Így a lapáttő síkjában elválasztásra kerültek egymástól fenyőfaillesztés és a lapát áramlási felülete. Ugyancsak különválasztottam a lapátokkal érintkező központi testet és a fenyőfaillesztést is. Az alkalmazott változtatások a 4. ábrán láthatóak.

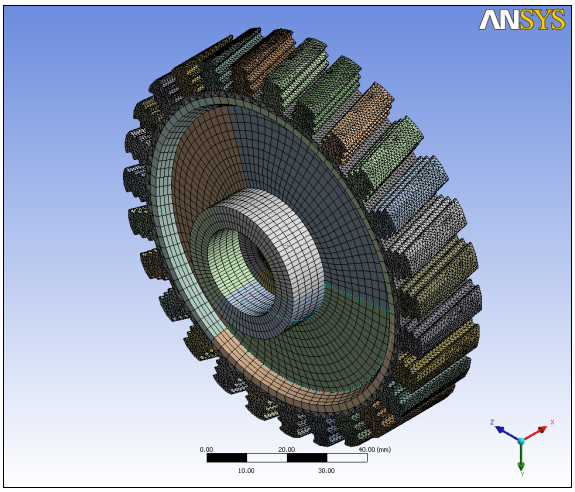


4. ábra - A lapátok felosztásának módja

A tárcsa és a lapátok hálózása

A tárcsa

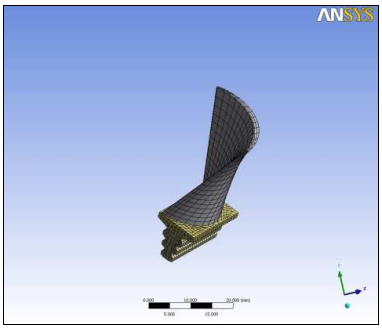
A tárcsa geometriája lehetővé tette a járókerék agy és abroncs közötti rész hexaéder elemekből felépülő, sugaras szerkezetű háló alkalmazását, amelyet az ANSYS **Mapped Face Meshing** parancsa valósít meg. A fenyőfaillesztések és a járókerék felosztása során kialakított, az illesztésekhez kapcsolódó gyűrűk esetében, azok szabálytalan geometriája illetve a lapátillesztések elfordítása miatt, egyszerű tetraéderes szerkezetű háló került kialakításra. A lapátokról átadódó mechanikai és termikus (hőátadás) igénybevételek indokolttá teszik az elemszám növelését ezeken a területeken. A tárcsán kialakított háló az 5. ábrán látható.



5. ábra - A tárcsára illesztett háló

A lapátok

A lapátok áramlási felületei, a fenyőfa-illesztések, valamint a kontakt-elemek esetében, azok egyszerű alakja miatt, úgy nevezett **Sweep**[1] típusú hálót alkalmaztam. Az ilyen típusú hálónak, az egyszerűségén kívül, előnye, hogy lerövidíti a futtatás idejét. A központi és a lapát illesztési testek esetében hexaéderekből felépített háló került alkalmazásra. (6. ábra)



6. ábra - A lapátokra illesztett háló

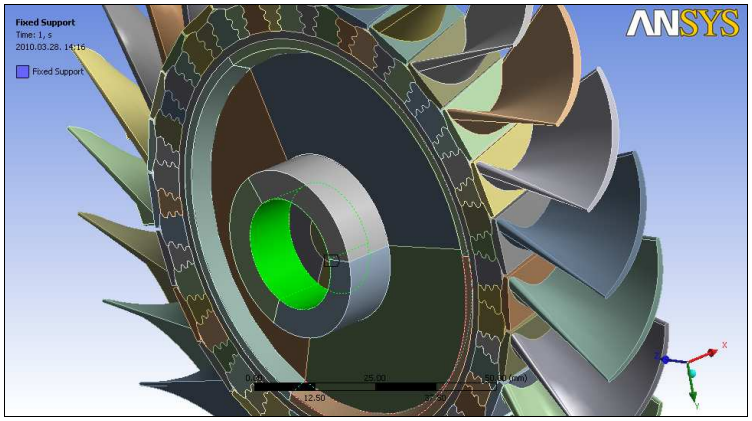
Kényszerek

A tárcsa és a lapátok kényszerezése két részből tevődik össze. A lapátok az eredeti turbina tárcsán acél kapcsokkal vannak rögzítve, melyek megakadályozzák azoknak a tárcsából való kicsúszását. Erre a célra az axiális mozgást megakadályozó kényszer alkalmazása a legmegfelelőbb. Ennek modellezésére az előzetesen kialakított kontaktfelületek mentén ún. **Bonded** típusú kapcsolatot értelmeztem. Az ilyen típusú peremfeltételek az egyes kapcsolódási felületek között ragasztott kapcsolatot hoznak létre, mely ebben az esetben megköti a lapátok valamennyi mozgási szabadságfokát. A lapátok és a tárcsa közötti kapcsolat definiálásakor feltételeztem, hogy a hajtómű működése közben, csak a centrifugális erő

[1] **Sweep:** Olyan hálózási típus az ANSYS végeselem programban, amely „téglatestekből” felépített hálót helyez a behálózni kívánt test felületére

vektorának irányába eső felületeken jön létre érintkezés, így a korábban említett peremfeltételt csak ezekre adtam meg.

A tárcsa esetében a nyomaték-átvitel annak forgástengelyével párhuzamosan kialakított perem belső felületén valósul meg, amely indokolja, hogy a tárcsa mind a hat mozgási szabadságfokának (mozgás X, Y, Z tengelyek irányába, valamint azok körül való elfordulás) megkötését. Ugyanakkor ilyen peremfeltételek mellett a hőterhelés hatására az előzetes futtatások eredményei alapján feszültségcsúcsok jelentkeztek, így a 7. ábrán jelölt területen rugalmas megfogást alkalmaztam, amely engedi a tárcsa hő hatására való alakváltozását és megakadályozza, hogy a hőtágulás megakadályozásából a rögzített területen feszültség-növekmény jöjjön létre. Az ilyen típusú kényszer viszont nem akadályozza meg a járókerék axiális irányú elmozdulását, így ezt a mozgási szabadságfokot járókerék középtengelyére értelmezett axiális mozgást megakadályozó kényszerrel kötöttem le.



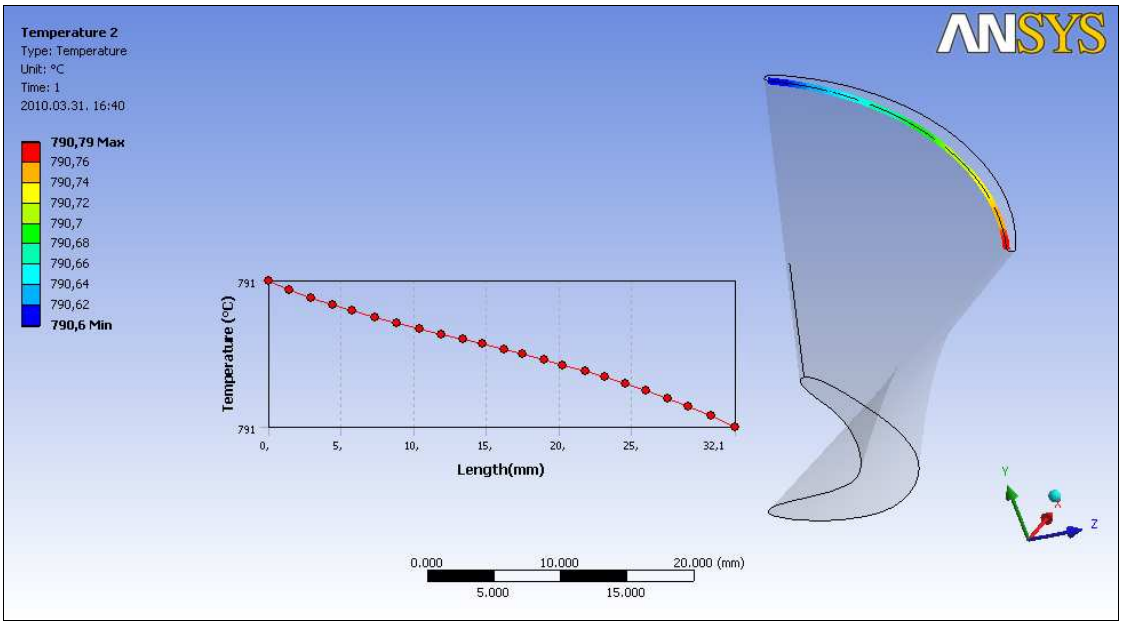
7. ábra - Kényszerek a modellen

Terhelések

Hőmérsékleti igénybevételek

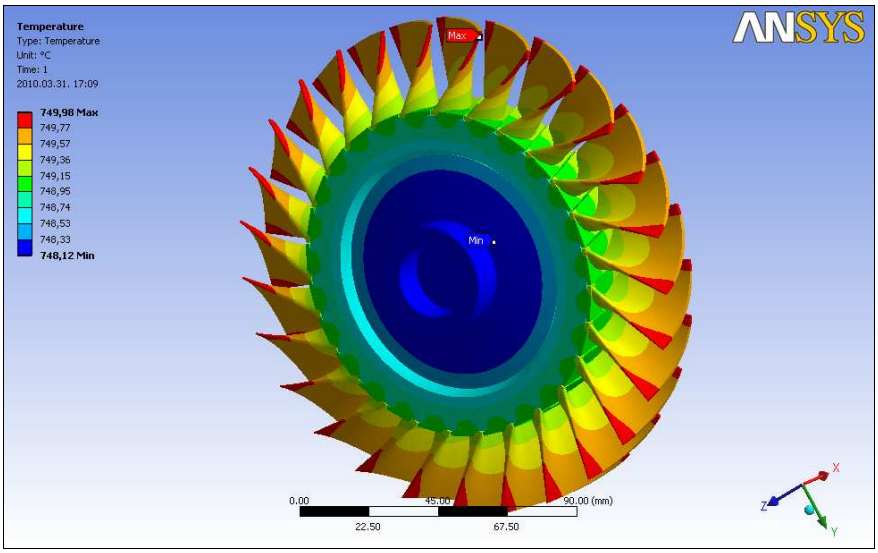
A hőmérsékleti igénybevételek elhelyezésekor több helyen is a valóságos állapottól való eltérés vált szükségessé, a futtatási idő lerövidítése, illetve a későbbi tranziens elemzés terhelés együttesének egyszerűsítése érdekében. Ilyen eltérés például, hogy egy valóságos turbinalapát esetében a palást mentén a hőmérsékletcsökkenés nagy része a húrhossz első negyedében játszódik le, míg az általam alkalmazott esetben a hőmérséklet csökkenése a húrhossz függvényében lineáris. A későbbi tranziens vizsgálatok elvégzésekor ez a hőmérsékleti megoszlás kerül elhelyezésre a többi lapát felületére is valamennyi futtatási időpillanatban.

További egyszerűsítés, hogy a turbinában bekövetkező entalpiacsökkenés nagy része a forgólapáton játszódik le, így az álló lapáton bekövetkező entalpiacsökkenés figyelembevételétől eltekintettem és a forgólapátokra való belépésnél T_3^* égéstér utáni hőmérsékletet tételeztem fel. Ugyancsak eltekintettem a hőmérséklet hosszmenti megoszlásától is és azt a teljes lapáthossz mentén változatlannak tételeztem fel. A palástón a hőmérséklet eloszlását a 8. ábra mutatja.



8. ábra - Hőmérséklet eloszlása a lapátok mentén (eloszlási görbével)

A TKT-1 kísérleti gázturbinás sugárhajtóművön a turbina tárcsája a kompresszortól elvett levegő segítségével hűtést kap, ezt az igénybevételt T_2^* hőmérsékletű levegő hatását imitáló igénybevétel elhelyezésével modelleztem a tárcsa kompresszor felé eső oldalán. Az áramvonalazó kúpon keresztüli hűtés nem került figyelembe vételre. Sajnos jelenleg nincs ismeretünk arról, hogy a kompresszortól a tárcsához juttatott levegő az áramlási térbe jutva az áramló közeggel, hogyan keveredik vagy milyen mértékű hőmérsékletcsökkenést okoz a lapáttő mentén, így ennek hatását, munkám során, figyelmen kívül hagytam. Mind a lapát mind a tárcsa esetében, az előzetes vizsgálatok azt mutatták, hogy a hőmérsékleti viszonyokat a legjobban a hőközlést feltételező peremfeltételek megadása közelíti. Így turbina termikus igénybevételeinek modellezésére a már említett hőközlési kényszert alkalmaztam. A tárcsára felvett termikus igénybevételek a 9. ábrán láthatóak. A bemutatott ábrák a maximális termikus igénybevételek keletkezésének (égéstér begyújtása) állapotát mutatják.



9. ábra - Termikus igénybevételek a tárcsán

Mechanikai illetve nyomásból származó igénybevételek

A TKT-1-en végzett korábbi számítások azt mutatják, hogy a gázerők miatt a lapátokban ébredő feszültségek a centrifugális erőből adódó feszültségekhez képest jóval kisebbek. Korábbi számítások alapján kimutatható, hogy különböző üzemmódokon a nyomásból származó feszültségek 4-5%-a centrifugális erőből származóknak [2]. Ebből kiindulva a vizsgálat során ezeket a terheléseket nem vettem figyelembe Az igénybevételek felvételekor alkalmazott változások és elhanyagolások többségében hozzájárulnak ahhoz, hogy az elemzés során a ténylegeshez képest nagyobb feszültségek jöjjenek ki eredményül, amely az ekvivalens üzemmódok meghatározásánál a biztonság felé való tévedést eredményez, ugyanis a munka célja, hogy a TKT-1 típusú kísérleti berendezés üzemidő számításának elkészítése.

Anyagmodell

A vizsgálat elvégzéséhez egyszerű lineáris anyagmodell került alkalmazásra. Az anyag tulajdonságok (a terhelés hatására bekövetkező) időbeli változása (kúszás) nem lett figyelembe véve. Mivel a lapát és a járókerék anyagának típusáról nem állt rendelkezésemre bővebb információ, így az analízis egyszerűsítése érdekében mindkét esetben ugyanazt az acél típust választottam. Így a korábbiakban a lapát-tárcsa érintkezési felületeknél megadott **Bonded** kényszer nem visz be járulékos feszültséget a modellbe, amely állapot, ilyen kényszer alkalmazása esetén, hőterhelések vizsgálatánál előfordulhat.

EKVIVALENS ÜZEMMÓDOK MEGHATÁROZÁSÁNAK ELMÉLETE

A cikk készítésének pillanatában a tárcsa végeselem analízisének csak az állandósult üzemmódon futtatott előzetes statikus vizsgálatok eredményei álltak a rendelkezésemre, ezért az ekvivalens üzemmódoknak csak az elméleti hátterét ismertetem. Munkám célja, hogy meghatározzam a berendezés ekvivalens üzemmódjait az elemzés eredményéül kapott $\sigma_{max}(t)$ függvény alapján. Ahogy a bevezetésben már említettem, a TSz-21-es indító-gázturbina, így az abból kialakított TKT-1 is, eredetileg 40-50 másodpercig üzemelt csak, kísérleti berendezésként viszont legalább 3-5 perces időtartamban működik. A hajtómű üzemképességének megőrzése, valamint a berendezést kezelő hallgatók biztonságának érdekében szükséges azt tudni, hogy az egyes üzemmódokon mennyi ideig üzemeltethető biztonságosan.

Károsodási elméletek

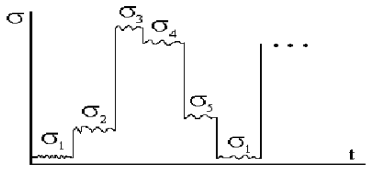
Az ekvivalens üzemmódok meghatározásának legjobb módja a károsodási paraméter alapján való üzemmód számítás. A károsodási paraméterek vizsgálata a modern üzemeltetés-elmélet központi témája. Lényege, hogy egy relatív károsodási paramétert számítanak ki, amely az üzemeltetés tárgya elhasználódását, károsodását jellemző komplex károsodási paraméter és a meghibásodási határ elérését jellemző érték viszonyszáma:

$$\bar{d} = \frac{d}{d_{max}} \tag{1}$$

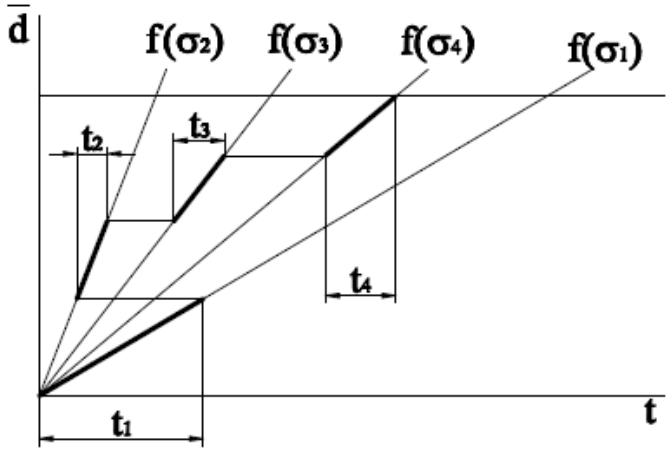
ahol

- d: a károsodást jelző komplex károsodási paraméter
- d_{max}: a meghibásodási határt jellemző érték

Az üzemeltetés-elmélet több határállapot típust is megkülönböztet egymástól, ilyenek például az üzemeltetési, elkülönítési, károsodási, kiselejtezési [5]. Munkám során az ekvivalens üzemmódokat a korábban már említett, a TKT-1-es 40 másodperces indítási folyamatára kiszámított, feszültség idő-függvény alapján fogom meghatározni. Ehhez a szakirodalmakban rendelkezésre álló károsodási elméletek által kínált összefüggéseket fogom alkalmazni. Valamennyi károsodási elmélet kiindulópontja, hogy meghatározza, hogy a berendezés az egyes üzemmódokon mennyi időt üzemel (10. ábra), és ez alapján felvázolja az egyes terhelési szinteket jellemző károsodási folyamatot. [5] (11. ábra)

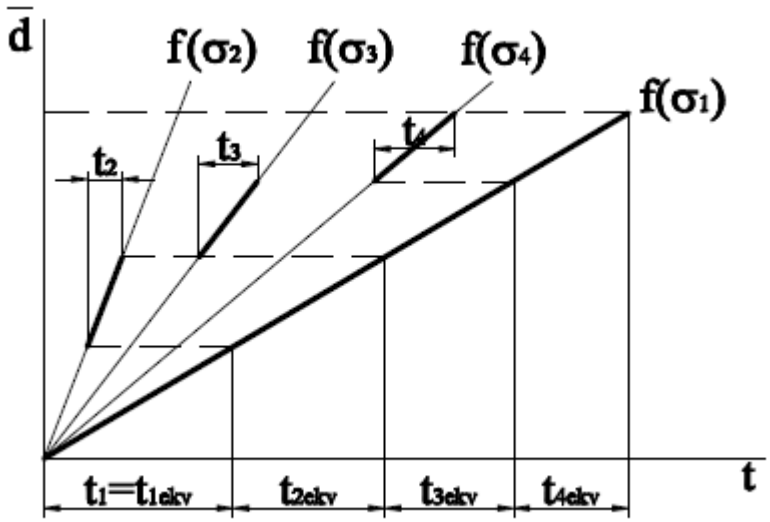


10. ábra - Üzemelési tartományok



11. ábra – Az egyes terhelési szinteket jellemző károsodási folyamatok

Ezek alapján az ekvivalens üzemmód számítás segítségével egyes üzemmódok átszámíthatóak egymásra. Így megállapítható, hogy az egyes terhelési szinteken eltöltött idő milyen nagyságú üzemidőnek felel meg a többi terhelési szinten. Az átszámítás módját a 12. ábra mutatja.



12. ábra - Üzemmódok átszámításának módja

Az ilyen károsodások ilyen típusú összegzését nevezik Miner-féle károsodás-elméletnek [5]. Képletszerűen a következőképpen fejezhető ki:

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^{n} \bar{d}_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{t_i}{\tau(\sigma_i)} \tag{2}$$

A maradék üzemidő pontosabb meghatározása érdekében, célszerű megnevezni egy kitüntetett üzemmódot, amelyre átszámítunk minden más üzemmódon értelmezett károsodást. Ebben az esetben a (2) egyenlet a következőképpen alakul:

$$\frac{t_i}{\tau_i(\sigma_i)} = \frac{t_{ekv}}{\tau_{ekv}(\sigma_{ekv})} \tag{3}$$

Az ilyen módon végzett átszámítás után az átszámított károsodási paraméterek összege 1 lesz. Az előbbiekben ismertetett módszeren kívül léteznek még nem lineáris károsodáselméletek is. Ilyen például a **Szerenszen-féle** károsodási elmélet, mely a következő összefüggés szerint számolja egy berendezés ekvivalens üzemmódjait:

$$\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{d_i}{d_{imax}} \right)^m = c \tag{4}$$

ahol

- m és c az anyagra és az üzemletetési körülményekre jellemző érték

Lehetséges üzemidők a TKT-1 esetében

Ahogy korábban írtam a kérdéses üzemmódok meghatározásának alapjául a TKT-1 negyven másodperces indítása során felvett hőmérséklet és fordulatszám adatok szolgálják számításaim alapját.

A berendezés egyenértékű üzemmódjait 3 fordulatszám értékre fogom meghatározni. A hajtómű működése szempontjából érdemes tudni, hogy maximális fordulatszámon mennyi ideig üzemeltethető biztonságosan. A hajtómű hosszabb idejű járatása érdekében két alacsonyabb üzemmódon való futási időt is meghatározok majd, az ezeknek megfelelő két fordulatszám a maximális érték 90 illetve 50%-a lesz.

Mivel a berendezés elsősorban hallgatói használatra készült, így az üzemidő számítás elkészítésénél a biztonság mellett fontos a hajtómű hosszú ideig való járathatósága. Ennek a követelménynek az alacsonyabb fordulatszám tartományok tesznek eleget. Korábbi üzemeltetési tapasztalatok alapján, maximális üzemmódon a TKT-1 2-3 percig is üzemelhetett, így biztonsággal állítható, hogy a teljes fordulatszám 90%-ban a hajtómű 3-4 percig is üzemelhet, az 50%-os teljesítmény pedig további 2-3 perc üzemelési időt jelenthet.

ELÉRT EREDMÉNYEK

A tárcsa és a lapátok szilárdsági vizsgálatával kapcsolatban, e cikk készülésének pillanatában, a megfelelő számítógépi kapacitás elérhetőségének hiányában még nem állt rendelkezésre értékelhető eredmény a végeselem analízis tekintetében. Ugyanakkor a kezdeti kiindulási paraméterekhez képest, számos helyen volt szükség a modell finomítására (például az alkalmazott kényszerek esetében), annak érdekében, hogy az esetlegesen a modellbe vitt plusz feszültségek keletkezését kiküszöböljem. Az eddig elért eredmények, a program futása szempontjából optimális háló elkészítése, és az igénybevételek finomítása az előzetes futtatások alapján.

TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Az általam megkezdett munka számos továbbfejlesztési lehetőséget hordoz magában, amely lehetővé teszi, hogy még több hallgató kapcsolódjon be a TKT-1-gyek kapcsolatos munkálatokba. Ilyen például a kompresszortól nyert hűtőlevegő áramlási viszonyainak vizsgálata a turbina járókerekénél, illetve az áramlási paraméterek és ezzel együtt lapátokra ható igénybevételek pontosabb meghatározása CFD felhasználásával. További célkitűzés lehet, az említett vizsgálatok peremfeltételeiből kiindulva, az általam végzett szilárdsági analízis frissítése és összevetése a mostani futtatások eredményeivel.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

[1.] BENEDA Károly Tamás: A TKT-1 sugárhajtómű fejlesztése és alkalmazása a BME repülőgépes képzésében, Repüléstudományi konferencia 2010, Szolnok

[2.]BENEDA Károly Tamás: Épülő gázturbinás sugárhajtómű üzemi jellemzőinek vizsgálata matematikai modell segítségével, Diplomamunka, 2006, Budapest

[3.]S. S. RAO: The finite element method in engineering, Pergamon press, 1989

[4.]PÁCZELT I., SZABÓ T., BAKSA A.: A végeselem módszer alapjai, 2007

[5.]ROHÁCS József, Simon István: Repülőgépek és helikopterek üzemeltetési zsebkönyve, Budapest, 1989

A cikk lektorálása folyamatban, lektorálás után kerül feltöltésre.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Bauer Péter

HÁROM ÜZEMMÓDÚ KIBŐVÍTETT KALMAN SZŰRŐK REPÜLŐGÉP ORIENTÁCIÓJÁNAK BECSLÉSÉRE

BEVEZETÉS

Repülőgépek szabályozása vagy identifikációja során fontos a gép orientációját jellemző Euler szögek becslése. Ezek a szögek közvetlenül nem mérhetők, csak más mért jellemzőkből becsülhetők. Ebben a munkában feltételeztem, hogy képesek vagyunk a repülőgép gyorsulását, szögsebességét és a föld mágneses vektor komponenseit 50Hz, a gép (GPS) pozícióját pedig 4Hz gyakorisággal mérni (ahogy az a [7] projekt esetében alkalmazott szenzornál fennáll).

Mivel a szögek változását nemlineáris differenciálegyenlettel tudjuk leírni, ezért a szögek becslésére az úgynevezett kibővített Kalman szűrő (továbbiakban EKF) eljárás használható. Jelen munka célja az eddig publikált megoldásokra alapozva egy pontosabb és megbízhatóbb módszer kifejlesztése mely képes a kívánt szögeket a lehetséges legnagyobb pontossággal becsülni. Ennek érdekében először áttekintettem a témáról fellelhető szakirodalmakat.

[1]-ben egy quaternionokra alapozott EKF található, mely a szögsebesség, gyorsulás és mágneses mérés segítségével becsüli az Euler szögeket. A cikk azzal a feltevéssel él, hogy a gyorsulás szenzorok végig a föld gravitációs gyorsulását mérik. Repülés közben az inerciális hatások miatt ez nem igaz (lásd [6]), ezért hamis eredmények adódnak.

[2]-ben egy a forgatási mátrixra alapozott EKF-et ismertetnek, mely a szögsebesség, gyorsulás, sebesség és mágneses mérés segítségével állapítja meg az Euler szögeket. A sebesség mérése miatt a mért gyorsulás inerciális részének egy tagja korrigálható, így az eredmények javíthatók, de a megoldás még így is tartalmaz elhanyagolást.

[3]-ban a mért sebességeket felhasználva becsülik az Euler szögeket. Mivel a sebességeket nem mérjük, ezért ez a módszer használhatatlan.

[4]-ben a pozíció becslésére mutatnak be módszert a gyorsulás, szögsebesség és orientáció mérésével. Ez a megoldás az orientáció becslésére nem használható.

Az eddigi módszerek elemzése azt mutatja, hogy a gyorsulás mérések repülés közbeni felhasználása torzítja és hamisítja az Euler szögek becslését. Így a kérdés, hogy hogyan lehetséges a szögek pontosabb becslése a gyorsulásmérések nélkül? Az első ötlet a csak mágneses mérésekre támaszkodó becslés. Ekkor

azonban 3 mérésből (3 mágneses komponens) a 4 állapot (quaternion) nem megfigyelhető! Ezért valami más jellemző mérését kell felhasználni. Itt érdemes megjegyezni, hogy a szingularitások elkerülése érdekében a forgatási transzformáció quternion reprezentációját szükséges használni az Euler szögek helyett.

A becslés során egy másik felmerülő probléma a szögsebesség szenzorok konstans mérési hibájának (bias) figyelembe vétele. Ez az EKF-ben egyszerűen becsülhető, de a legyező mozgásra vonatkozóan óvatosnak kell lenni. Ugyanis, ha a repülőgép köröket ír le, akkor a szűrő hajlamos lehet a teljes legyező szögsebességet szenzorhibának becsülni. Ezért a legjobb lenne csak az orsózó és bólintó mozgásra vonatkozóan végezni a becslést. Ezt a kérdést a bevezetés utáni fejezet fogja vizsgálni. Ezt követően kerül sor az alkalmazandó EKF három üzemmódjának meghatározására kitérve a köztük való átkapcsolás feltételeire is. A következő fejezetben a szűrés matematikai háttere kerül bemutatásra a felhasználandó egyenletek rövid levezetésével. Ezt követi a szűrő(k) implementálásáról és teszteléséről szóló fejezet. Végül a cikk az elvégzett munka összegzésével és a továbblépési lehetőségek ismertetésével zárul.

A SZÖGSEBESSÉG SZENZOROK KONSTANS MÉRÉSI HIBÁI

Itt a vizsgálandó kérdés az, hogy a felszállás előtt földön, álló helyzetben kiszámolt szögsebesség átlagértékek (szenzor konstans hibák) mennyire térnek el a leszállás után számított átlagoktól? 9 repülés során gyűjtött adatfile-ból állt össze az 1. táblázat:

	P [fok/s]		Q [fok/s]		R [fok/s]	
2009. 05.	előtte	utána	előtte	utána	előtte	utána
data2	0,0605	0,095	0,030	-0,008	-0,132	-0,157
data3	0,054	0,039	-0,007	-0,003	-0,122	-0,185
data4	0,027	0,043	0,000	-0,020	-0,107	-0,148
data6	0,075	0,014	-0,033	0,014	-0,124	-0,127
2009. 10.	előtte	utána	előtte	utána	előtte	utána
data1	0,115	0,081	-0,155	-0,060	-0,290	-0,313
data2	0,103	0,082	-0,132	-0,091	-0,298	-0,308
data4	0,083	0,064	-0,073	-0,048	-0,269	-0,233
2009. 12.	előtte	utána	előtte	utána	előtte	utána
data2	0,049	0,025	-0,200	-0,183	-0,490	-0,480
data3	0,109	0,079	-0,293	-0,207	-0,467	-0,422

1. táblázat Az átlagos szögsebesség szenzor konstans hibák

Az 1. táblázat azt mutatja, hogy míg az orsózó és bólintó szögsebességek esetén a szenzor konstans hibák a repülés előtt és után elég jelentősen eltérnek, addig a legyező szögsebesség esetén ez az eltérés sokkal kisebb. Ez szerencsésen egybeesik az igényekkel, és lehetővé teszi, hogy a szűrővel csak az első

két szögsebesség mérési hibát becsüljük lassan változó jellemzőként a harmadik hibát a kezdeti konstans értéken meghagyva.

A TERVEZENDŐ KÁLMÁN SZŰRŐ HÁROM ÜZEMMÓDJA

A szűrővel szemben követelmény, hogy mind a földön, mind a levegőben a lehető leghitelesebb mérések felhasználásával becsülje az Euler szögeket. Ehhez a gyorsulás és mágneses információk mellett rendelkezésre állnak a GPS pozíció és sebesség mérések is. Míg a földön álló, vagy lassan mozgó helyzetben a GPS mérések teljesen megbízhatatlanok (lásd 3. ábra), addig repülés közben a gyorsulásmérések lesznek hamisak. Ez lehetőséget biztosít a mérések megfelelő kombinálására figyelembe véve, hogy az EKF nagyon kezdeti érték érzékeny, ezért egy megbízható inicializáló rutin kialakítása is szükséges. Így végül a tervezendő szűrő három üzemmódja:

- MODE 1. kezdeti értékek (Euler szögek, szenzor hibák és a földmágnesesség vektor) meghatározása 4-10 másodperc adatgyűjtés (álló helyzetben) után
- MODE 2. becslés a földön álló, vagy lassan guruló helyzetben felszállás előtt / leszállás után a gyorsulás és mágneses mérések felhasználásával
- MODE 3. becslés, repülés közben a GPS (pozíció, vagy sebesség) és mágneses mérések felhasználásával

Az üzemmódok meghatározása után szükséges a köztük való átkapcsolás feltételeit is meghatározni.

A MODE 1 $\rightarrow$ 2 átkapcsolás egyértelműen megoldható egy timer alkalmazásával, mely 4-10 másodperc múltán elvégzi a rendszer átállítását. A végső kód verziókban az inicializálás 10 másodperc.

A MODE 2 $\rightarrow$ 3 átkapcsolás már nem ilyen egyszerű. Legkézenfekvőbb lenne az abszolút GPS sebesség figyelése, de ebben a hirtelen zajok nagyságát nehéz előre becsülni és egy alábecsült kapcsolási határ hamis kapcsolásokat okozhat. A felszállást azonban nagyon jól jellemzi a maximális gázkar állás együtt az X tengely irányú gyorsulás hirtelen megugrásával (a gép elkezd gyorsulni). 10 mérés adatainak vizsgálatából a következő határgyorsulás értékek adódnak a felszállásra (mely alatti gyorsulás a felszállás előtt nem fordul elő):

	05. 2009.				10. 2009.			12. 2009.		
adatfile	data2	data3	data4	data6	data1	data2	data4	data12	data2	data3
lim_ax [g]	-0.2	-0.32	-0.32	-0.23	-0.26	-0.26	-0.16	NaN	-0.441	-0.55

2. táblázat Határgyorsulás értékek

A 2. táblázat vizsgálata megmutatja, hogy -0.32g alatti a_x gyorsulás érték a 10-ből 7 esetben a felszállás megkezdését jelzi. Az utolsó három esetben a repülőgép kézzel való agresszív mozgatása előzte

meg a felszállást, ezért adódtak kisebb határértékek. Az ebből adódó probléma kiküszöbölhető, ha a gyorsulás értékét a felszálláskori gázadással (melynek határértéke 80%) együtt vizsgáljuk. A gép kézi mozgatása maximális gáz mellett ugyanis nem szokott előfordulni.

A MODE 3 $\rightarrow$ 2 visszakapcsolás leszállás után viszont már elvégezhető a GPS-el mért abszolút sebesség alapján. Repülés közben ugyanis ennek értéke 15-20 m/s így egy megfelelően alacsony határérték választásával a mérési hibák miatti téves kapcsolás elkerülhető. Végül ismét 10 repülés adataiból a határérték 0.2 m/s lett. Ez alatti értéknél a gép már biztosan a földön gurul.

Szükség van még a különleges esetek kezelésére:

- Felszálláskor a gyorsulás hamarabb megy -0.32g alá, mint ahogy az abszolút sebesség 0.2m/s fölé nőne. Ez hibás – még felszállás közbeni – MODE 3$\rightarrow$2 kapcsolást eredményez. Ez a probléma egy timer alkalmazásával küszöbölhető ki, mely meggátolja a visszakapcsolást, ha a felszállás után nem telt még el két perc (egy átlagos repülés 6-10 perc).
- Kezelni kell még a GPS jel elvesztését / hibás jel vételét. Ez különféle feltételek vizsgálatával és szintén timer-el oldható meg. Ha repülés közben legalább 3 másodpercen keresztül nincs, vagy hibás a GPS jel, akkor visszakapcsolás történik MODE 2 üzemmódba. Ekkor a szögek becslése ugyan hibás, de sokkal jobb, mint a GPS nélkül divergáló szűrő esetében (csak mágneses mérésből az Euler szögek nem becsülhetők!).

A SZŰRŐ(K) MATEMATIKAI HÁTTERE

Elsőként érdemes az inicializáláshoz szükséges kifejezéseket levezetni abból kiindulva, hogy rendelkezésre állnak az álló helyzetben 4-10 másodperc alatt gyűjtött átlagos szögsebesség, gyorsulás és mágneses értékek. Az átlag értékek számítása rekurzív számtani közép formula alkalmazásával oldható meg:

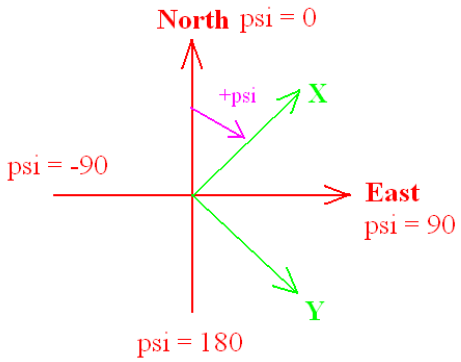
$$\begin{aligned} S_1 &= a_1 \\ S_{k+1} &= S_k \frac{k}{k+1} + \frac{1}{k+1} a_{k+1} \end{aligned} \tag{1}$$

- S_k a számtani közép aktuális értéke, a_k a legutolsó mért érték

Az átlagos gyorsulásértékekből a ϕ és θ Euler szögek számíthatók (2) használatával:

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\theta \\ \sin\phi \cdot \cos\theta \\ \cos\phi \cdot \cos\theta \end{bmatrix} \quad \theta = \arcsin(-a_x) \quad \phi = \operatorname{arctg}\left(\frac{a_y}{a_z}\right) \tag{2}$$

A ψ azimutszög azonban csak a mágneses méréseket is figyelembe véve határozható meg. A kiszámított ϕ és θ szögek segítségével már lehetséges a mért mágneses komponensek föld rendszerbe transzformálása (test rendszerből, mert ott mérünk).



1. ábra Elforgatott test rendszer a föld (North – East) rendszerben

Az 1. ábrát figyelembe véve a föld rendszer vízszintes síkjába eső két mágneses komponensből a mágneses északhoz képest mért azimutszög már számítható. Ezt a D deklinációval korrigálva megkapjuk a tényleges azimutszöget:

$$\psi' = \text{arctg2}\left(\frac{-v_y}{v_x}\right) \quad \psi = \psi' + D \tag{3}$$

A három szög felhasználásával a föld mágneses terének konstans v_x, v_y, v_z komponensei a mágneses mérések alapján meghatározhatók.

A konstans szögsebesség mérési hibákat egyszerűen a mért értékek átlaga adja. A kezdeti quaternion pedig a kezdeti Euler szögekből (4) szerint számítható (itt c( ) jelentése cos és s( ) jelentése sin).

$$\begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c(\psi/2)\cdot c(\theta/2)\cdot c(\phi/2) + s(\psi/2)\cdot s(\theta/2)\cdot s(\phi/2) \\ c(\psi/2)\cdot c(\theta/2)\cdot s(\phi/2) - s(\psi/2)\cdot s(\theta/2)\cdot c(\phi/2) \\ c(\psi/2)\cdot s(\theta/2)\cdot c(\phi/2) + s(\psi/2)\cdot c(\theta/2)\cdot s(\phi/2) \\ s(\psi/2)\cdot c(\theta/2)\cdot c(\phi/2) - c(\psi/2)\cdot s(\theta/2)\cdot s(\phi/2) \end{bmatrix} \tag{4}$$

Az inicializálás után szükséges felírni a rendszer szűréshez használandó dinamikai egyenleteit, és belőlük előállítani a diszkrét idejű EKF-ben használandó mátrixokat. A quaternionok dinamikáját a szögsebességet figyelembe véve az (5)-beli elsőrendű differenciálegyenlettel tudjuk leírni. A valós rendszerben azonban a mért szögsebességeket konstans hibák (b = bias) és nulla várhatóértékű zajok (v)

terhelik. A tényleges dinamika leírásához ezekkel a mért szögsebességeket korrigálni szükséges. Az orsózó és bólintó szögsebesség mérési hibák dinamikája pedig egy nulla várható értékű zajjal megzavart rendszerként írható le. Mindez látható a (6) egyenletekben.

$$\dot{q} = \left(-\frac{1}{2}\right)\begin{bmatrix} 0 & P & Q & R \\ -P & 0 & -R & Q \\ -Q & R & 0 & -P \\ -R & -Q & P & 0 \end{bmatrix} q \quad ahol \quad q = \begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$\dot{q} = \left(-\frac{1}{2}\right)\begin{bmatrix} 0 & P-b_P-v_P & Q-b_Q-v_Q & R-b_R-v_R \\ -P+b_P+v_P & 0 & -R+b_R+v_R & Q-b_Q-v_Q \\ -Q+b_Q+v_Q & R-b_R-v_R & 0 & -P+b_P+v_P \\ -R+b_R+v_R & -Q+b_Q+v_Q & P-b_P-v_P & 0 \end{bmatrix} q \quad v^q = \begin{bmatrix} v_P \\ v_Q \\ v_R \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{b}_P \\ \dot{b}_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{bP} \\ v_{bQ} \end{bmatrix} \rightarrow \quad \dot{b} = v^b$$

A további levezetésekhez szükséges a szögsebesség mérési hibákat (orsózó és bólintó) és a szenzorzajokat külön vektorként kiemelni és a dinamikát tömör formában leírni:

$$\dot{q} = \underbrace{\left(-\frac{1}{2}\right)\begin{bmatrix} 0 & P & Q & R-b_R \\ -P & 0 & -R+b_R & Q \\ -Q & R-b_R & 0 & -P \\ -R+b_R & -Q & P & 0 \end{bmatrix}}_{A_1(\rho)} q + \underbrace{\left(-\frac{1}{2}\right)\begin{bmatrix} -q_1 & -q_2 \\ q_0 & -q_3 \\ q_3 & q_0 \\ -q_2 & q_1 \end{bmatrix}}_{A_2(q)} b +$$

$$+ \underbrace{\left(-\frac{1}{2}\right)\begin{bmatrix} -q_1 & -q_2 & -q_3 \\ q_0 & -q_3 & q_2 \\ q_3 & q_0 & -q_1 \\ -q_2 & q_1 & q_0 \end{bmatrix}}_{B_1(q)} v^q \quad ahol \quad \rho = \begin{bmatrix} P \\ Q \\ R \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$\dot{q} = A_1(\rho)q + A_2(q)b + B_1(q)v^q \quad vagy$$

$$\dot{q} = A_1(\rho,b)q + B_1(q)v^q \quad ahol \quad A_1(\rho,b)q = A_1(\rho)q + A_2(q)b$$

A folytonos idejű paraméterfüggő lineáris dinamikából a becsléshez szükséges diszkrét idejű lineáris dinamika kétféle közelítéssel állítható elő. Egyrészt a Heun, másrészt az Euler formula felhasználásával. A Heun formulával felírt egyenletek (8), (9), (10)-ben láthatók. (8) adja meg a kiindulást (7) megfelelő behelyettesítésével. Itt egyben látható, hogy a Heun formula miatt a zajvektorok *k* és *k+1* pillanatbeli értékei is szerepelnek az egyenletekben. Ez a sajátság kétféleképpen kezelhető. Egyrészt fiktív

zajvektorok bemutatásával (9), másrészt fiktív, járulékos állapotváltozók bevezetésével (10). (9), (10)-ben látható, hogy quaternion dinamika esetén a Heun formula zárt alakú megoldása viszonylag egyszerű formában levezethető (q_{k+1} kifejezhető).

$$
\begin{aligned}
q_{k+1} &\approx q_k + \frac{\dot{q}_k + \dot{q}_{k+1}}{2} dt \\
q_{k+1} &\approx q_k + \frac{A_1(\rho_k) q_k + A_2(q_k) b_k + B_1(q_k) v_k^q + A_1(\rho_{k+1}, b_{k+1}) q_{k+1} + B_1(q_{k+1}) v_{k+1}^q}{2} dt \\
b_{k+1} &\approx b_k + \frac{v_k^b + v_{k+1}^b}{2}
\end{aligned}
\tag{8}
$$

$$
\begin{aligned}
& q_{k+1} = \left(M_{k+1}^+\right)^{-1} M_k^- q_k + \frac{dt}{2}\left(M_{k+1}^+\right)^{-1} A_2(q_k) b_k + dt\left(M_{k+1}^+\right)^{-1} B_1(\bar{q}_{k+1}) \bar{v}_{k+1}^q \\
& b_{k+1} = b_k + dt \bar{v}_{k+1}^b \\
& \textit{ahol} \quad M_{k+1}^+ = I - \frac{dt}{2} A_1(\rho_{k+1}, b_k) \quad \textit{és} \quad M_k^- = I + \frac{dt}{2} A_1(\rho_k)
\end{aligned}
\tag{9}
$$

$$
\begin{bmatrix} q_{k+1} \\ b_{k+1} \\ x_{k+1}^q \\ x_{k+1}^b \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \left(M_{k+1}^+\right)^{-1} M_k^- & \frac{dt}{2}\left(M_{k+1}^+\right)^{-1} A_2(q_k) & \frac{dt}{2}\left(M_{k+1}^+\right)^{-1} B_1(q_k) & 0 \\ 0 & I_2 & 0 & \frac{dt}{2} I_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{A_k} \begin{bmatrix} q_k \\ b_k \\ x_k^q \\ x_k^b \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{dt}{2}\left(M_{k+1}^+\right)^{-1} B_1(q_{k+1}) & 0 \\ 0 & \frac{dt}{2} I_2 \\ I_3 & 0 \\ 0 & I_2 \end{bmatrix}}_{B_k} \begin{bmatrix} v_{k+1}^q \\ v_{k+1}^b \end{bmatrix}
\tag{10}
$$

(9) és (10) megoldhatóságának feltétele, hogy M_{k+1}^+ invertálható legyen. Ez a mátrix nemcsak invertálható, de ráadásul még egyszerű és zárt alakban is meghatározható az inverze. Így a zárt alakú Heun formulás megoldás jól alkalmazható az algoritmusban. Mivel a mikrokontrolleren való implementálás során fontos kérdés a rendszer dimenziója, ezért érdemes a 11 állapotú (10) helyett a 6 állapotú (9) dinamikai egyenletrendszer használata.

Az Euler formulás megoldás a (9)-hez hasonló egyszerű egyenleteket ad (11). Az itt látható M_k^- mátrix eltér a (9), (10)-ben használtaktól.

$$
\begin{aligned}
&\dot{q} = A_1(\rho)q + A_2(q)b + B_1(q)v^q \\
&\dot{b} = v^b \quad \rightarrow \quad b_{k+1} \approx b_k + dtI_2 v^b_{k+1} \\
&q_{k+1} \approx \underbrace{q_k + dtA_1(\rho_k)q_k}_{M\bar{k}\,q_k} + dtA_2(q_k)b_k + dtB_1(q_k)v^q_{k+1} \\
&\begin{bmatrix} q_{k+1} \\ b_{k+1} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} M\bar{k} & dtA_2(q_k) \\ 0 & I_2 \end{bmatrix}}_{A_k} \begin{bmatrix} q_k \\ b_k \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} dtB_1(q_k) & 0 \\ 0 & dtI_2 \end{bmatrix}}_{B_k} \begin{bmatrix} v^q_{k+1} \\ v^b_{k+1} \end{bmatrix}
\end{aligned}
\tag{11}
$$

A rendszer dinamikáját leíró állapot dinamikai egyenletek előállítása után szükséges még a kimeneti (mérési) egyenletek meghatározása. Ezt a mágneses, a gyorsulás és a GPS azimutszög adatokra külön-külön írtam fel. Mindhárom esetben az eredeti mérési egyenlet nemlineáris, melynek linearizálását adott munkapont körül a Jacobi mátrix kiszámításával lehet elvégezni. (12)-ben látható a föld mágneses komponensek transzformációja test rendszerbe, mely a mért mágneses adatokat adja.

$$
\begin{aligned}
&\begin{bmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 & 2(q_1q_2 + q_0q_3) & 2(q_1q_3 - q_0q_2) \\ 2(q_1q_2 - q_0q_3) & q_0^2 - q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 & 2(q_2q_3 + q_0q_1) \\ 2(q_1q_3 + q_0q_2) & 2(q_2q_3 - q_0q_1) & q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 \end{bmatrix}}_{h_1(x)} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial h_1(x)}{\partial x} = C_1 = \\
&= 2\begin{bmatrix} q_0v_x + q_3v_y - q_2v_z & q_1v_x + q_2v_y + q_3v_z & -q_2v_x + q_1v_y - q_0v_z & -q_3v_x + q_0v_y + q_1v_z \\ -q_3v_x + q_0v_y + q_1v_z & q_2v_x - q_1v_y + q_0v_z & q_1v_x + q_2v_y + q_3v_z & -q_0v_x - q_3v_y + q_2v_z \\ q_2v_x - q_1v_y + q_0v_z & q_3v_x - q_0v_y - q_1v_z & q_0v_x + q_3v_y - q_2v_z & q_1v_x + q_2v_y + q_3v_z \end{bmatrix}
\end{aligned}
\tag{12}
$$

Itt H_x, H_y, H_z a test rendszerben mért mágneses komponensek.

A gyorsulás szenzorok földön álló helyzetben a gravitációt mérik, mely az alábbi nemlineáris mérési egyenletre és Jacobi mátrixra vezet. Itt a_x, a_y, a_z a test rendszerben mért gyorsulás komponensek.

$$
\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 2(q_1q_3 - q_0q_2) \\ 2(q_2q_3 + q_0q_1) \\ \left(q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2\right) \end{bmatrix}}_{h_2(x)} \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial h_2(x)}{\partial x} = C_2 = \begin{bmatrix} -2q_2 & 2q_3 & -2q_0 & 2q_1 \\ 2q_1 & 2q_0 & 2q_3 & 2q_2 \\ 2q_0 & -2q_1 & -2q_2 & 2q_3 \end{bmatrix} \tag{13}
$$

A GPS azimut szögre vonatkozó egyenlet (ahogy az [1]-ben is megtalálható) és Jacobi mátrixa (14)-ben szerepel. Az egyes üzemmódokban használt mérési egyenletek:

- MODE 2: (12) + (13)
- MODE 3: (12) + (14)

$$\psi = \underbrace{\tan^{-1}\left(\frac{2(q_1q_2+q_0q_3)}{q_0^2+q_1^2-q_2^2-q_3^2}\right)}_{h_3(x)} = \tan^{-1}\left(\frac{C}{B}\right)$$

$$C = 2(q_1q_2+q_0q_3) \quad B = q_0^2+q_1^2-q_2^2-q_3^2 = 1-2\left(q_2^2+q_3^2\right)$$

$$\frac{\partial h_3(x)}{\partial x} = C_3 = \frac{1}{1+\frac{C^2}{B^2}}\underbrace{\frac{\partial}{\partial x}\left(C\cdot B^{-1}\right)}_{A} = \frac{B^2}{B^2+C^2}A \tag{14}$$

$$A = \left[\frac{2q_3}{B} \quad \frac{2q_2}{B} \quad \frac{2q_1}{B}+\frac{C}{B^2}4q_2 \quad \frac{2q_0}{B}+\frac{C}{B^2}4q_3\right]$$

$$C_3 = \left[\frac{2q_3B}{B^2+C^2} \quad \frac{2q_2B}{B^2+C^2} \quad \frac{2q_1B}{B^2+C^2}+\frac{4q_2C}{B^2+C^2} \quad \frac{2q_0B}{B^2+C^2}+\frac{4q_3C}{B^2+C^2}\right]$$

Foglalkozni kell még azzal, hogy a GPS mérésekből hogyan számítható ki a Ψ azimutszög. Egyrészt meghatározható két egymást követő pozíció koordináta párból (15) szerinti módon. Itt λ a szélesség, ϕ pedig a hosszúság koordinátája.

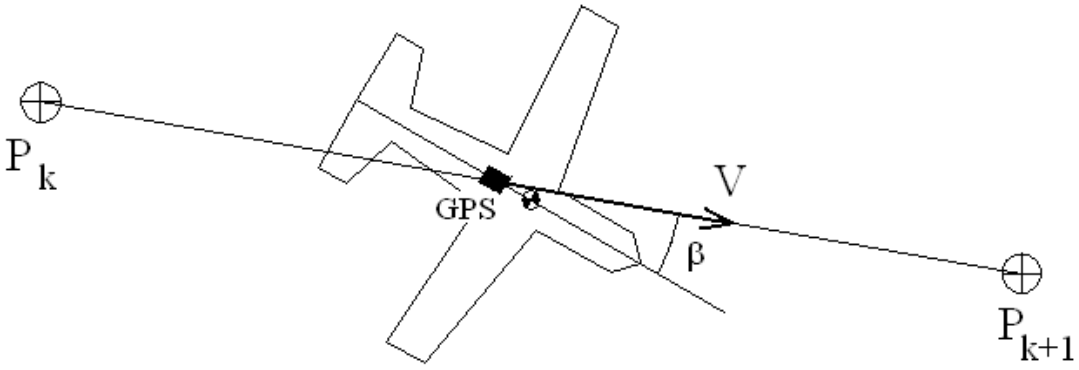
$$\psi_{k+1} = a\tan 2\left(\frac{\cos\lambda_{k+1}\sin(\phi_{k+1}-\phi_k)}{\cos\lambda_k\sin\lambda_{k+1}-\sin\lambda_k\cos\lambda_{k+1}\cos(\phi_{k+1}-\phi_k)}\right) \tag{15}$$

Másrészt meghatározható a GPS által mért sebesség komponensekből (16) szerint ahol Evel és Nvel rendre a keleti és északi sebesség komponensek:

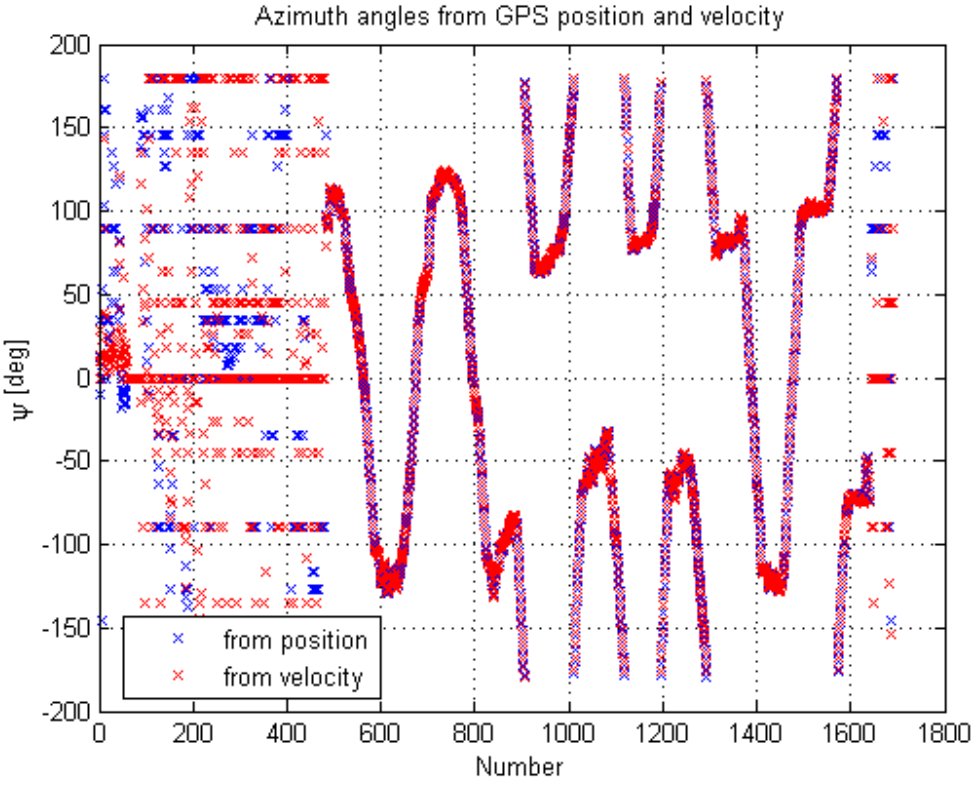
$$\psi_{k+1} = a\tan 2\left(\frac{Evel}{Nvel}\right) \tag{16}$$

Kérdés, hogy melyik számítás a korrektebb, melyiknek mik az előnyei vagy hátrányai. Tekintsük ehhez a 2. ábrát. Itt a repülőgép két útvonalpont (P_k, P_{k+1}) közti pályája látható. Mivel a GPS vevő nem a gép súlypontjában van, ezért a súlypont elmozdulása és sebessége helyett a gép egy másik pontjának elmozdulását és sebességét méri. De ha igyekszünk a vevőt közel tenni a gép súlypontjához, akkor a gép forgásából adódó eltérések minimálisak. A másik szemléltetett eltérés, hogy ha csúszva repül a gép, akkor sebességvektora nem párhuzamos a test rendszer X tengelyével. Ezért a tényleges azimutszög helyett egy a sebességvektor által meghatározott azimutszög fog adódni. GPS koordinátákkal megadott repülési pálya követése esetén azonban ez éppen a pálya szögét adja meg. Mivel a pályakövetés az azimutszög szabályozásán keresztül oldható meg, ezért éppen célszerűbb ezt az azimutszöget mérni a tényleges (X tengelyhez viszonyított) helyett. Így a mért jellemző nevezhető *effektív azimutszögnek*. Kérdés még, hogy

hogyan viszonyulnak egymáshoz a pozícióból és a sebességből számított azimutszög értékek? Ezt a 3. ábra mutatja egy repülés során gyűjtött adatokra támaszkodva.



2. ábra A GPS által mért effektív azimutszög



3. ábra Számított azimutszög értékek a GPS pozícióból (kék) és sebességből (piros)

A 3. ábra jól mutatja, hogy felszállás előtt és leszállás után mind a GPS pozícióból, mind a GPS sebességből kapott azimutszög értékek használhatatlanok. Repülés közben azonban a kétféle számítás azonos szögértékeket ad. Ezek után a célszerűség dönti el, hogy melyiket használjuk. Mivel a sebességből való számítás megtehető az éppen aktuális értékekből és nem szükséges hozzá az előző GPS adatcsomag tárolása, ezért ennek használata mellett döntöttem.

Mivel az EKF egyenletei számtalan szakirodalomban (többek közt [8]) megtalálhatók, ezért ezek ismertetésére most nem térek ki. Végül kétféle szűrő került implementálásra, hangolásra és tesztelésre Matlab környezetben. Az első a redukált állapotterű Heun módszer szerinti (9), a második pedig az Euler módszer szerinti (11).

A SZŰRŐK IMPLEMENTÁLÁSA, HANGOLÁSA ÉS TESZTELÉSE

Egy EKF implementálása előtt szükséges a rendszer megfigyelhetőségének ellenőrzése. Ha ez teljesül, akkor lehetséges a kód elkészítése, behangolása (súlyozó mátrixokkal) és tesztelése. Először mindig a redukált Heun formulás módszer hangolása és tesztelése történt meg több lépésben, majd az eredmények összehasonlításra kerültek az Euler formulás módszerrel.

A megfigyelhetőség ellenőrzése

A mérési egyenletek (12,13,14) miatt a rendszer nemlineáris, a dinamikai egyenletek (9,11) miatt pedig még paraméterfüggő (szögsebesség) is. Így összességében egy paraméterfüggő nemlineáris rendszer megfigyelhetőségét kell ellenőrizni. A paraméterfüggés kiküszöbölhető, ha először nulla (legkritikusabb eset, lásd [4]) majd nem nulla szögsebességekre történik meg az ellenőrzés. Nemlineáris rendszer megfigyelhetősége kétféleképpen ellenőrizhető. Egyrészt a megfigyelhetőségi disztribúció kiszámításával és rangjának ellenőrzésével (lásd [4]), másrészt sok munkapontban linearizálva a rendszert a munkaponti lineáris rendszerek megfigyelhetőségét ellenőrizve. A bonyolult mérési egyenletek miatt a disztribúció rangjának ellenőrzése is csak griddeléssel (sok állapottér pontban való ellenőrzés) lenne megoldható, ugyanakkor a disztribúció paraméteres előállítása is igen nehézkes. Így végül a sok munkapontban való linearizálás és ellenőrzés mellett döntöttem. A munkapontok a repülőgép normál üzemében fellépő Euler szög hármasok által meghatározottak a (17)-beli szögértékeket figyelembe véve.

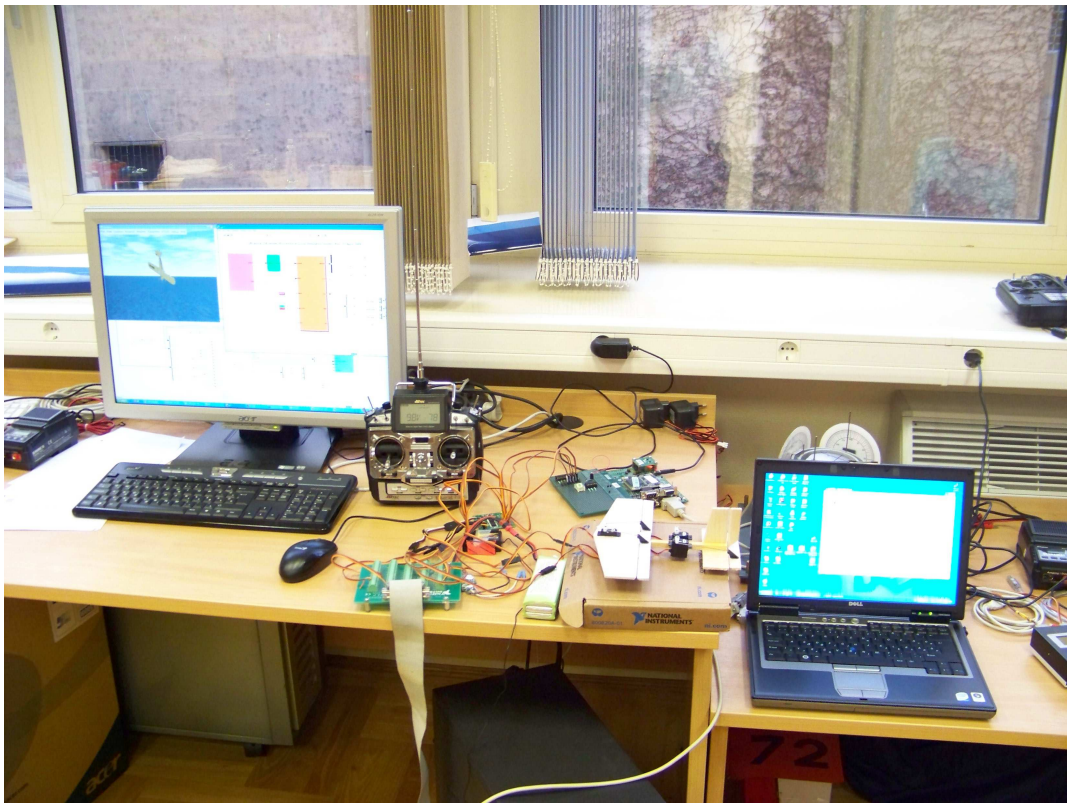
$$\begin{aligned} \phi &= \left[-90:10:90 \quad -45 \quad 45\right] \ [°] \\ \theta &= \left[-60:10:60 \quad -45 \quad 45\right] \ [°] \\ \psi &= \left[-180:10:180 \quad -45 \quad 45\right] \ [°] \end{aligned} \tag{17}$$

Az ellenőrzést a (17)-ben található szögek összes kombinációjára elvégeztem. Nulla szögsebesség mellett a rendszer mágneses + gyorsulás, illetve mágneses + GPS mérésekből megfigyelhető. Csak a mágneses mérésekből a rendszer nem megfigyelhető. Nem nulla szögsebesség mellett a rendszer már csak a mágneses mérésekből is megfigyelhetőnek adódott. A gyakorlati tapasztalatok szerint ez nem igaz, így itt eltérés van a linearizált és a nemlináris rendszer megfigyelhetősége közt. Ezért szükséges a GPS jel elvesztése esetén visszakapcsolni MODE 2 üzemmódba.

Tesztelés és összehasonlítás HIL adatokon

Először mindkét szűrőnek csak a mágneses + GPS mérésekre támaszkodó MODE 3 része került implementálásra és tesztelésre. A rövidebb futásidő érdekében mindkét kód csak minden második híváskor végez mérési korrekciót, egyébként csak a predikciós lépéseket számolja. Kivéve, ha éppen GPS adat érkezik, mert ekkor mindig elvégzik a korrekciót is.

A kódok első tesztelésére az MTA SZTAKI-ban felépített hardware in the loop (HIL) szimulátorban gyűjtött repülési adatokra támaszkodva került sor. A HIL szimulátor felépítése a Minnesota-i egyetemmel folytatott együttműködés keretén belül történt meg [9]. Fényképe a 4. ábrán látható.



4. ábra HIL elrendezés az MTA SZTAKI-ban

A HIL szimulátor lényege, hogy a valóság helyett egy Matlab szimulációban „repül” a repülőgép. A valós rendszer esetében szenzorral mért jellemzőket egy szimulációs blokk állítja elő és küldi ki a repülőgép valós fedélzeti számítógépe részére. A fedélzeti számítógép vezérlő jeleit pedig a repülőgép szervói helyett egy adatgyűjtő kártyába vezetjük, mely elküldi őket a Matlab szimulációnak. Így tulajdonképpen a fedélzeti számítógép egy virtuális repülőgépet vezet a valós helyett lehetőséget biztosítva így a szabályozók kockázatmentes tesztelésére (nem következhet be géptörés).

A HIL szimulációban gyűjtött adatok kiválóan alkalmasak az Euler szög EKF tesztelésére, mert a szögsebességek, gyorsulások, mágneses és GPS adatok mellett az Euler szögek is rendelkezésre állnak (a Matlab számítja őket). Így a becsült Euler szögek összevethetők a Matlabban számoltakkal (a becslési hibák számíthatók).

A tesztelések három gyűjtött adatfile felhasználásával történtek. Mivel a HIL szimulációban se zajok, se szenzor mérési hibák nincsenek, ezért ezeket külön hozzáadtam a mért jellemzőkhöz a reális tesztelés érdekében. (18) második sora mutatja a szögsebesség mérésekhez hozzáadott bias értékeket, első sora pedig a szűrőnek megadott kezdeti értékeket. Így az orsózó és legyező mozgás esetén lehetőség volt a szenzor konstans mérési hibák megfelelő becslésének tesztelésére is.

$$\begin{aligned} b_{P0} &= -0.007\,\mathrm{rad/s} \quad b_{Q0} = 0.004\,\mathrm{rad/s} \quad b_{R0} = 0.011\,\mathrm{rad/s} \\ b_{P} &= -0.01\,\mathrm{rad/s} \quad b_{Q} = 0.008\,\mathrm{rad/s} \quad b_{R} = 0.011\,\mathrm{rad/s} \end{aligned} \tag{18}$$

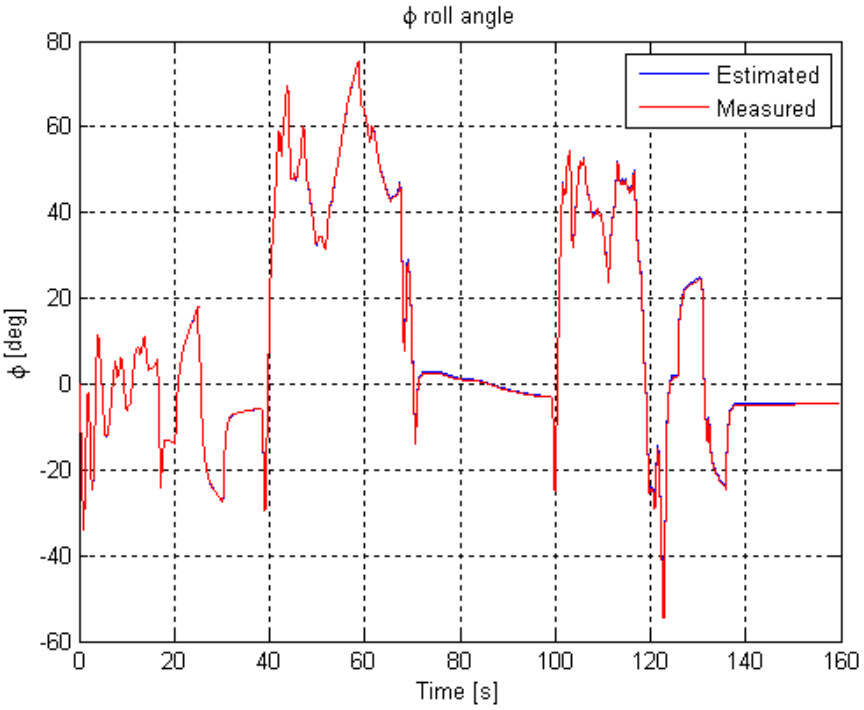
A becslőnek a kezdeti Euler szög értékeket nulla hibával adtam meg, feltéve, hogy az addigi becslések jók (a HIL szimuláció a levegőben repülés közben indul).

A szűrők hangolása valós szenzormméréseken alapuló zajkovariancia mátrixokkal történt (természetesen ennek megfelelő zajt adtam hozzá a mért adatokhoz) (lásd [7]).

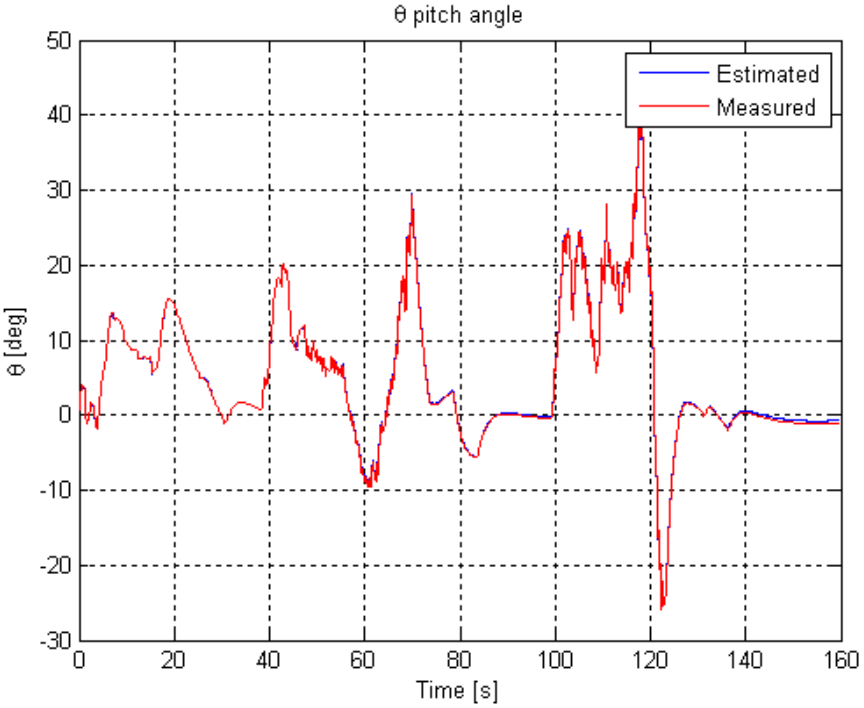
A Heun módszerrel kapott maximális abszolút becslési hibákat (fokban) a 3. táblázat tartalmazza. Mint látható, a legnagyobb eltérések az azimutszögeknél vannak, de a maximális 1,3°-os eltérés kiváló eredménynek számít. Ez látszik az 5-7. ábrákon is. A 8. ábrán pedig látható, hogy a szűrő a bias értékek becslését is jól oldja meg. P orsózó szögsebesség esetén -0.01, Q bólintó szögsebesség esetén pedig 0.008 környékére áll be elég gyorsan a becslés, melyek pont a megadott értékek.

[°]	phi	theta	psi
HILdata14	0.432	0.337	0.62
HILdata15	0.605	0.54	1.28
HILdata16	0.67	0.427	1.21

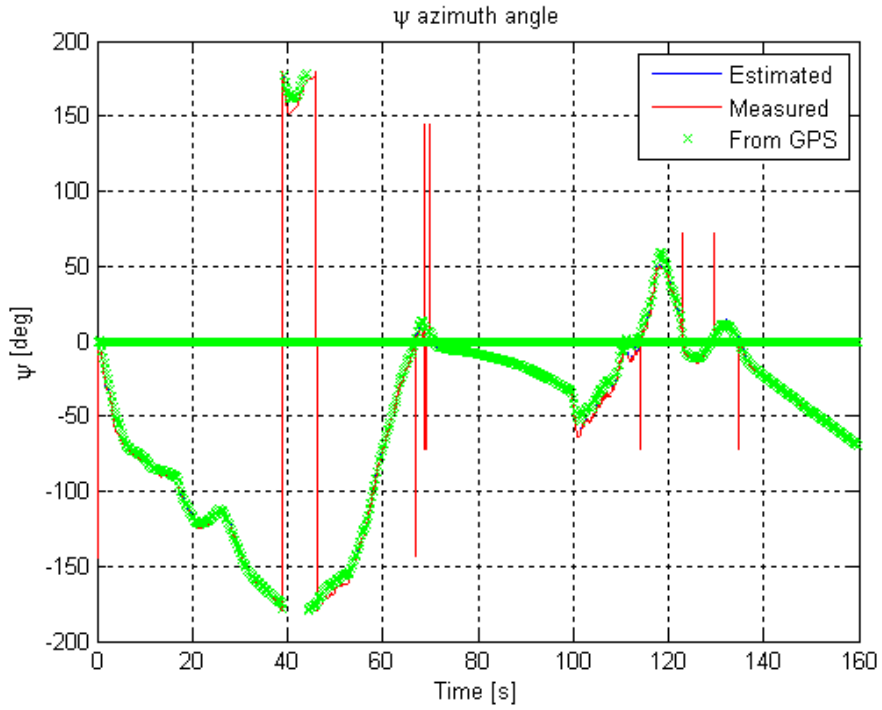
3. táblázat Maximum abszolút becslési hibák Heun módszerrel



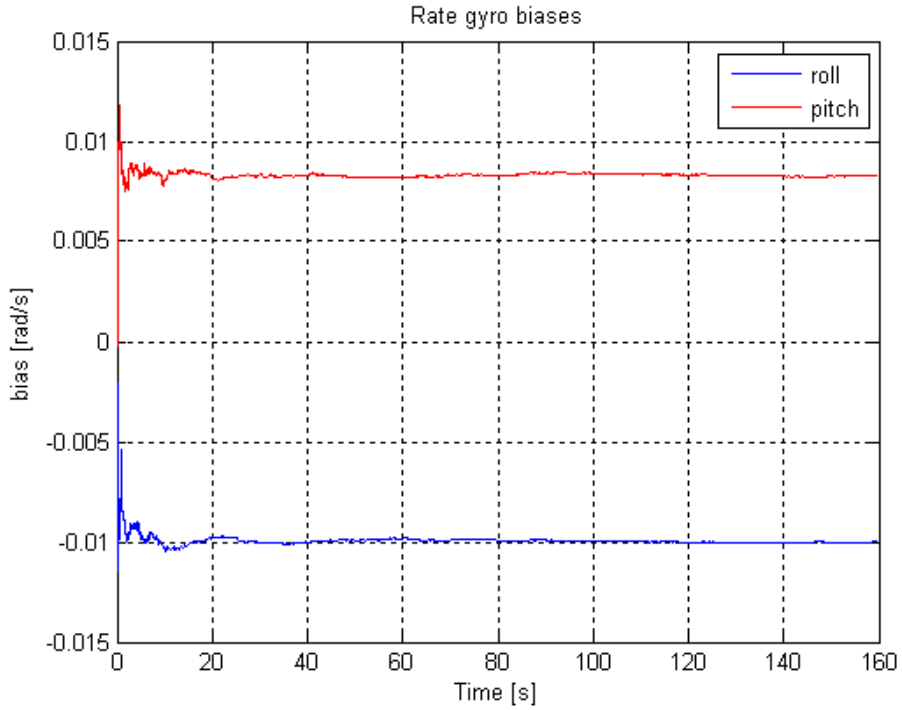
5. ábra A becsült (estimated) és Matlabban számolt (measured) bedöntési szögek (HILdata16)



6. ábra A becsült (estimated) és Matlabban számolt (measured) bólintási szögek (HILdata16)



7. ábra A becsült (estimated) és Matlabban számolt (measured) azimutszögek (HILdata16)



8. ábra A becsült orsózó (roll) és bólintó (pitch) szögsebesség mérési hibák (HILdata16)

Az Euler módszert alkalmazó szűrővel hasonló jó eredményeket kaptam. A maximum abszolút becslési hibák a 4. táblázatban láthatók pirossal jelölve azokat az eseteket, amikor nagyobb maximális hibák adódtak. A táblázatból megállapítható, hogy az esetek többségében egy kicsivel nagyobbak a hibák.

[°]	phi	theta	psi
HILdata14	0.849	0.6836	1.807
HILdata15	0.68	0.4766	0.987
HILdata16	0.4797	0.576	1.1

4. táblázat Maximum abszolút becslési hibák Euler módszerrel

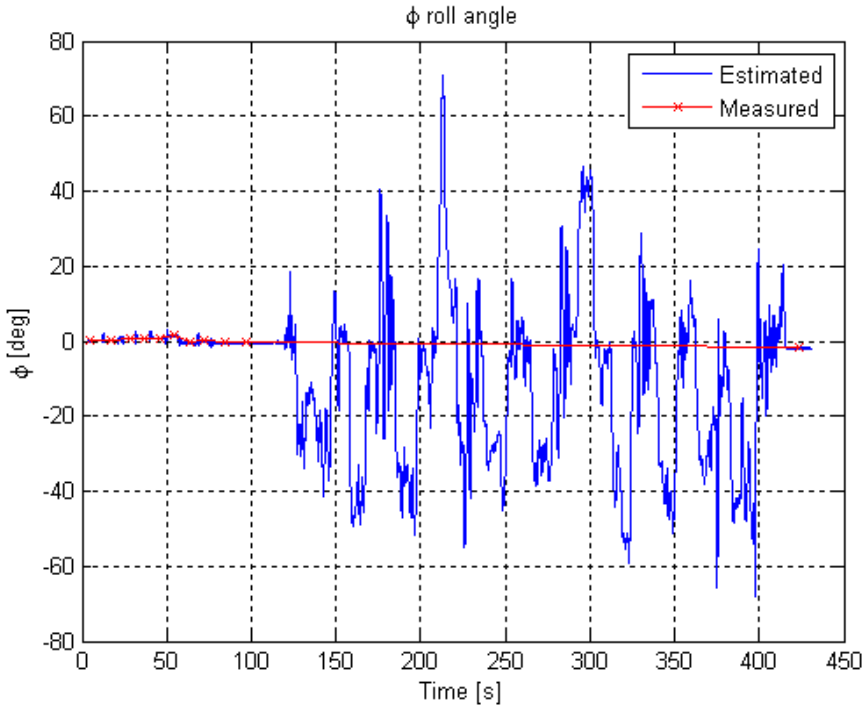
Tesztelés valós repülési adatokon

2009 októberében 3 tesztrepülést (data 1,2,4) végeztünk melyek során megtörtént a szögsebesség, gyorsulás, mágneses és GPS adatok gyűjtése. Az első két esetben a felszállást egy földi tesztelés előzte meg, amikor a felszálló pozícióhoz képest a repülőgépet kb. 45°-onként elforgatva pár másodpercig adatot gyűjtöttünk, majd továbbforgattunk. Így a 360°-os kör megtétele során 9 pontban történt álló helyzetben adatok gyűjtése. Ezt a 9 pontot a leszállás utáni földön állással együtt felhasználva összesen 10 pontban számíthatók az inicializáció során használt formulákkal az Euler szögek. Ez lehetőséget biztosít az EKF hangolására és ellenőrzésére (mivel ennek alkalmazásakor csak a kiinduló értékeket számolom az inicializációs képletekkel, a többit már a MODE 2 / 3 üzemmódok számítják). A háromféle adatfile-ra a Heun módszerrel kapott maximum abszolút eltérések (a számolt 10 pontban) az 5. táblázatban láthatók. Az adott adatfile-ra és szögre vonatkozó legnagyobb abszolút hibák (sárgával kiemelve) mindegyike 1° alatti. Ez kiváló eredmény.

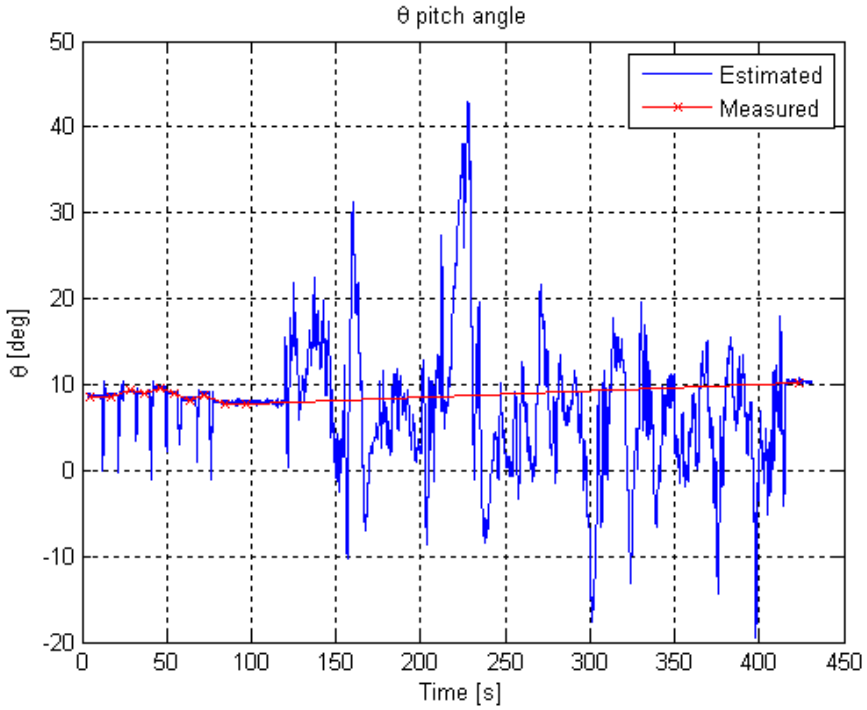
	abszolút becslési hiba [°]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
data1	phi	0,0927	0,1065	0,0460	0,0574	0,3149	0,0686	0,1437	0,0588	0,0011	0,0528
	theta	0,2121	0,1749	0,0029	0,1822	0,0583	0,0102	0,1858	0,0421	0,1211	0,1170
	psi	0,5513	0,2354	0,0290	0,1331	0,9590	0,2024	0,0496	0,2660	0,9425	0,0452
data2	phi	0,1970	0,0230	0,0551	0,1285	0,1490	0,1527	0,1581	0,0927	0,2874	0,0479
	theta	0,1151	0,1218	0,0082	0,1040	0,1363	0,4092	0,2153	0,1479	0,1304	0,0574
	psi	0,5114	0,0026	0,0667	0,0839	0,2916	0,4131	0,0184	0,2113	0,7633	0,1452
data4	phi									0,0284	0,3697
	theta									0,0945	0,1270
	psi									0,0004	0,8587
		felszállás előtt									leszállás után

5. táblázat Euler szög becslés maximum abszolút hibái Heun módszerrel

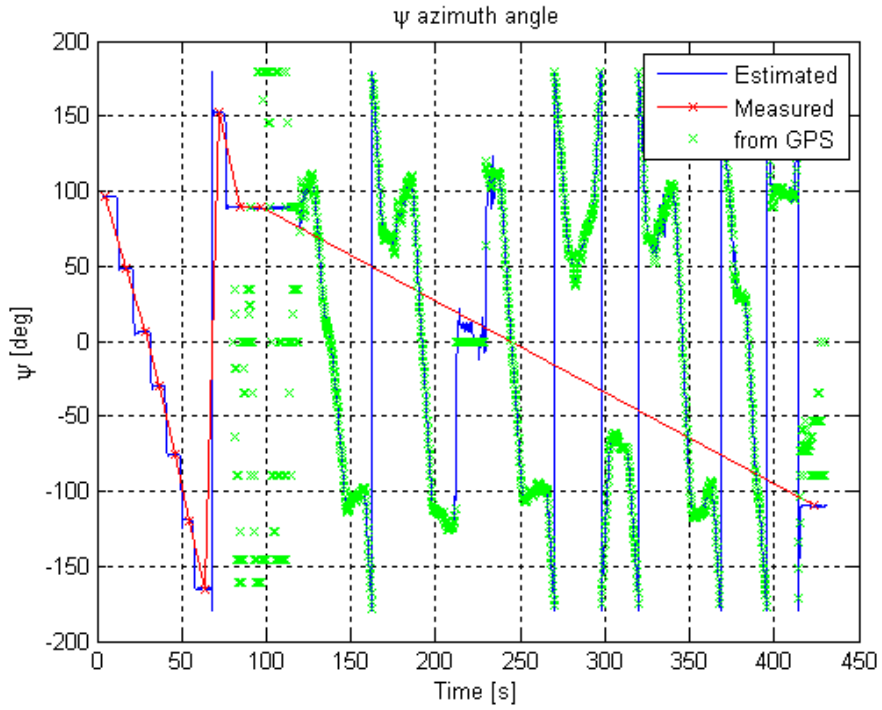
A mért (10 pontban) és becsült Euler szögek a 9-11. ábrákon, míg a becsült szögsebesség mérési hibák a 12. ábrán láthatók.



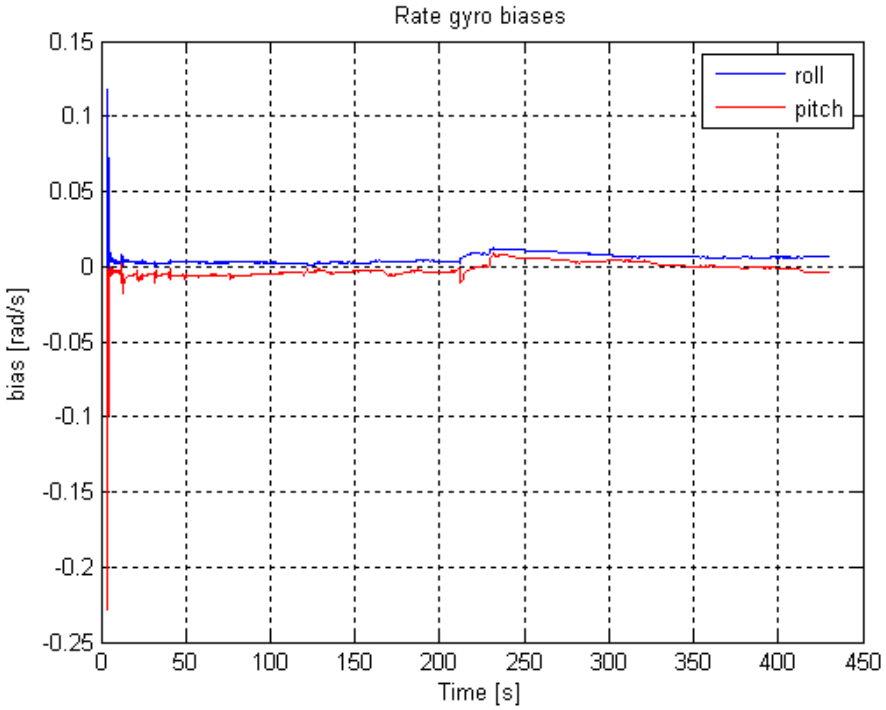
9. ábra A becsült (estimated) és álló helyzetben számolt (measured) bedöntési szögek (data1)



10. ábra A becsült (estimated) és álló helyzetben számolt (measured) bólintási szögek (data1)



11. ábra A becsült (estimated) és álló helyzetben számolt (measured) azimutszögek (data1)



12. ábra A becsült szögsebesség mérési hibák (roll = orsózó, pitch = bólintó) (data1)

A 9-11. ábrák jól mutatják, hogy a teljes repülés után a szögek becsült értékei az álló helyzetben átlagból számolt értékekre állnak be. Ez azt jelenti, hogy a köztes becsült értékek is jók kell, hogy legyenek. A 11. ábrán az is látszik, hogy az azimutszög jól követi a GPS-ből számolt (from GPS) értékeket. A 12. ábrán pedig megfigyelhető, hogy a bias értékek becslése közel konstans, lassan változó és reális nagyságrendű.

Az Euler módszert használó megoldással igen hasonló eredmények adódtak, ezért csak a maximum abszolút becslési hibák táblázatát mellékelem (6. táblázat). Az esetek többségében az Euler módszer egy kicsivel nagyobb maximális hibákat adott.

	Abszolút becslési hiba [°]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
data1	phi	0,0904	0,1017	0,0446	0,0589	0,3149	0,0666	0,1452	0,0615	0,0024	0,0553
	theta	0,2097	0,1691	0,0039	0,1798	0,0647	0,0064	0,1876	0,0508	0,1273	0,1134
	psi	0,5516	0,2312	0,0272	0,1261	0,9536	0,2016	0,0519	0,2608	0,9366	0,0499
data2	phi	0,1853	0,0226	0,0589	0,1323	0,1510	0,1538	0,1549	0,0912	0,2837	0,0528
	theta	0,1225	0,1178	0,0027	0,1047	0,1290	0,3917	0,2135	0,1416	0,1139	0,0648
	psi	0,5147	0,0030	0,0676	0,0846	0,2920	0,4072	0,0191	0,2121	0,7632	0,1440
data4	phi									0,0280	0,3653
	theta									0,0918	0,1371
	psi									0,0001	0,8551
		felszállás előtt									leszállás után

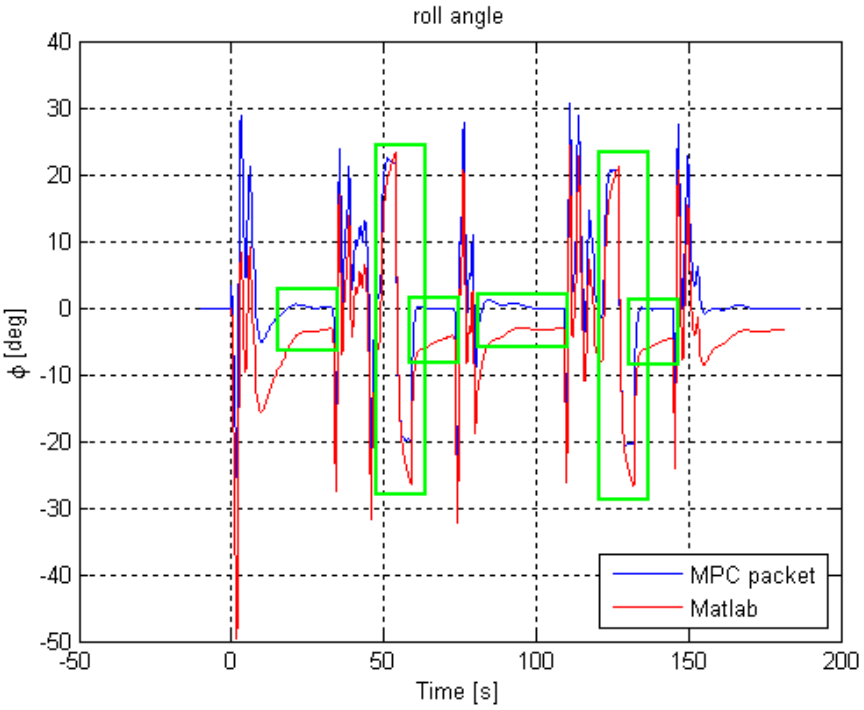
6. táblázat Euler szög becslés maximum abszolút hibái Euler módszerrel

Összehasonlítás egyszerűbb EKF-el

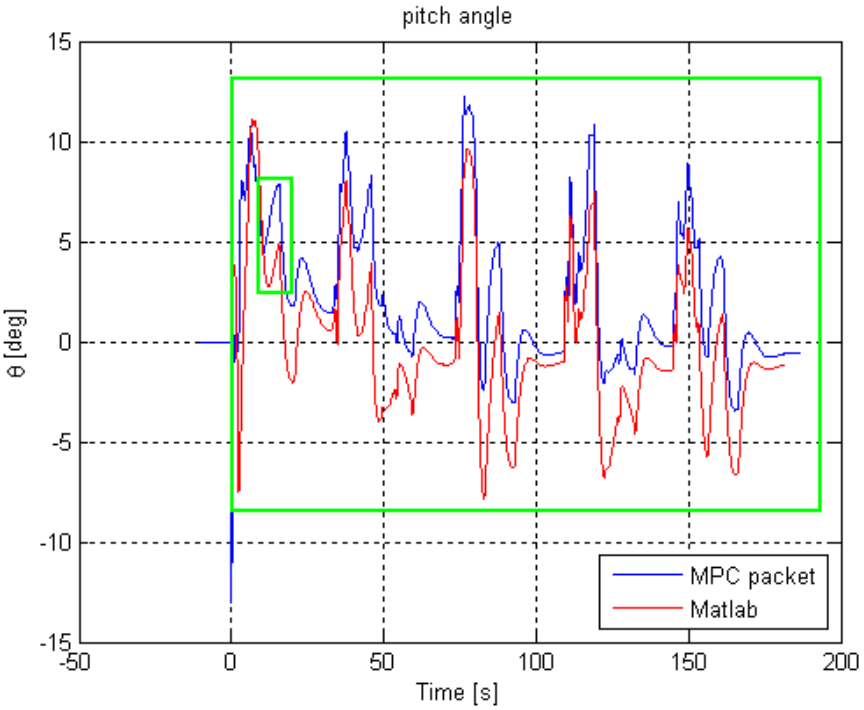
A [7] projekt keretén belül megtörtént az [1]-ben ismertetett EKF implementálása a repülőgép fedélzeti számítógépén. Így lehetőség van az új és elméletileg pontosabb (Heun formulás) EKF összevetésére a régi megoldással. Az összevetést a valós repülési adatokra végeztem el indirekt módon. Repülés közben ugyanis nem ismertek az Euler szögek. Így azonos adatfile-ra a kétféle becslőt lefuttatva (a régit repülés közben, az újat off-line) csak az látható, hogy mennyire térnek el egymástól az eredmények. Ha azonban megnézzük, hogy a régi becslő mennyire tér el a HIL szimuláció során a Matlab által számolt értékektől (amiket az új becslő szinte tökéletesen becsül) és ezt összevetjük a repülési adatoknál a két becslő közt látszó eltérésekkel akkor lehetséges következtetni az új becslő jobb / rosszabb működésére.

A régi becslő HIL Matlab adatoktól való eltérései a 13-15. ábrákon láthatók. A megfigyelt eltérések a következők:

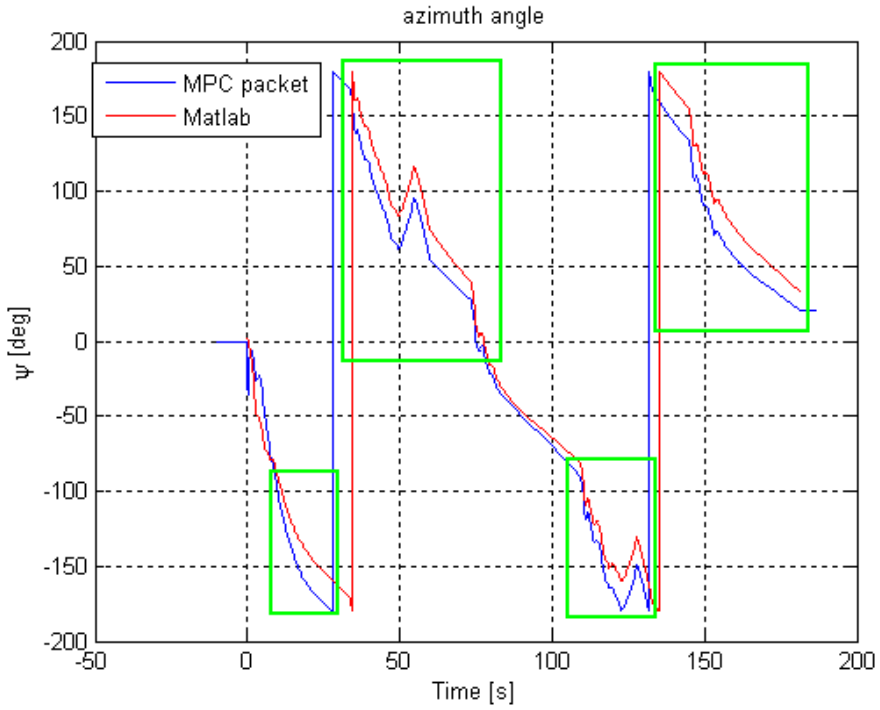
- phi: A Matlab értékek nem nullák, míg a becsült értékek közel nullák. A Matlab értékek tranziense hihetőbb (kevésbé szögletes).
- theta: A Matlab értékek konzekvensen kisebbek, és néhol ellentétes irányban változnak
- psi: A Matlab értékek konzekvensen nagyobbak



13. ábra Bedöntési szög becslése a régi EKF-el (kék) HIL szimulációban (HILdata13)



14. ábra Bólintási szög becslése a régi EKF-el (kék) HIL szimulációban (HILdata13)

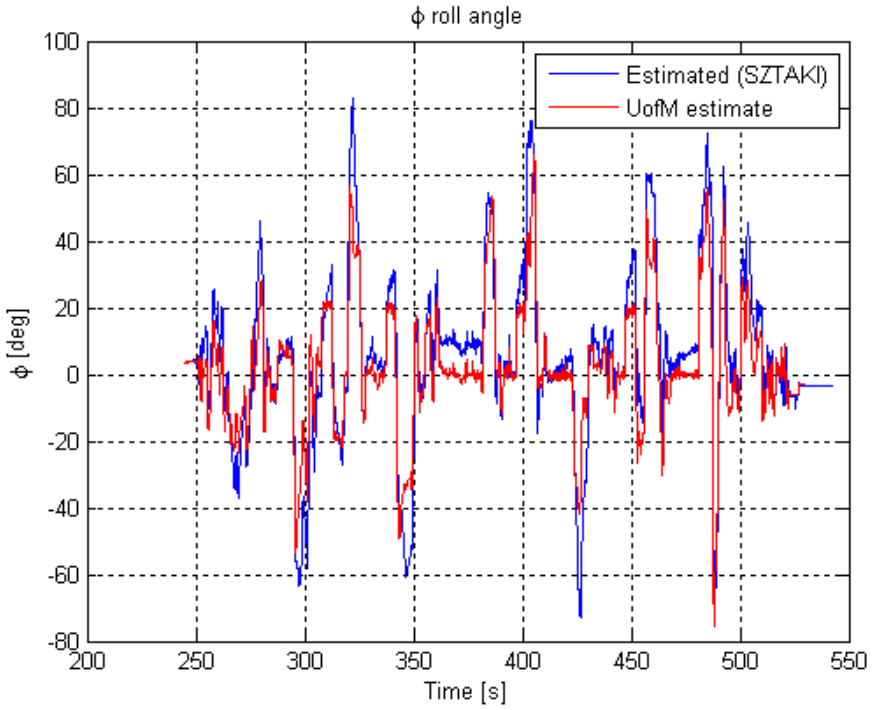


15. ábra Azimutszög becslése a régi EKF-el (kék) HIL szimulációban (HILdata13)

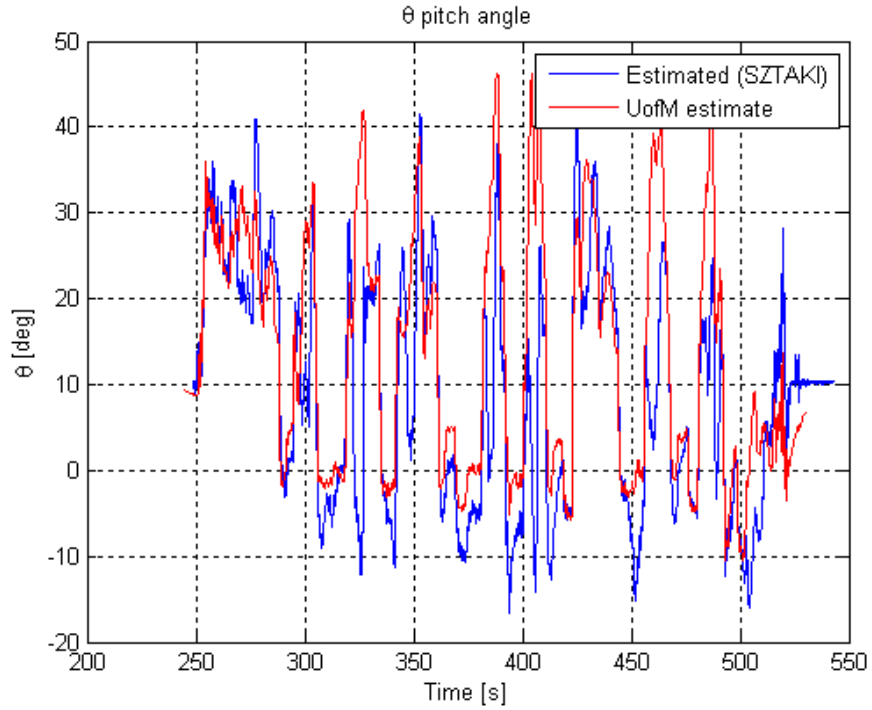
A repülési adatokra kapott kétféle becslés eredményei a 16-18. ábrákon láthatók. Az ábrákon látható eltérések az egyes szögekre:

- phi: Az új EKF-el becsült értékek nem nullák, míg a régi értékek közel nullák. Az új értékek tranziense hihetőbb (kevésbé szögletes).
- theta: Az új EKF-el becsült értékek konzekvensen kisebbek, és néhol ellentétes irányban változnak
- psi: Az új EKF-el becsült értékek konzekvensen nagyobbak

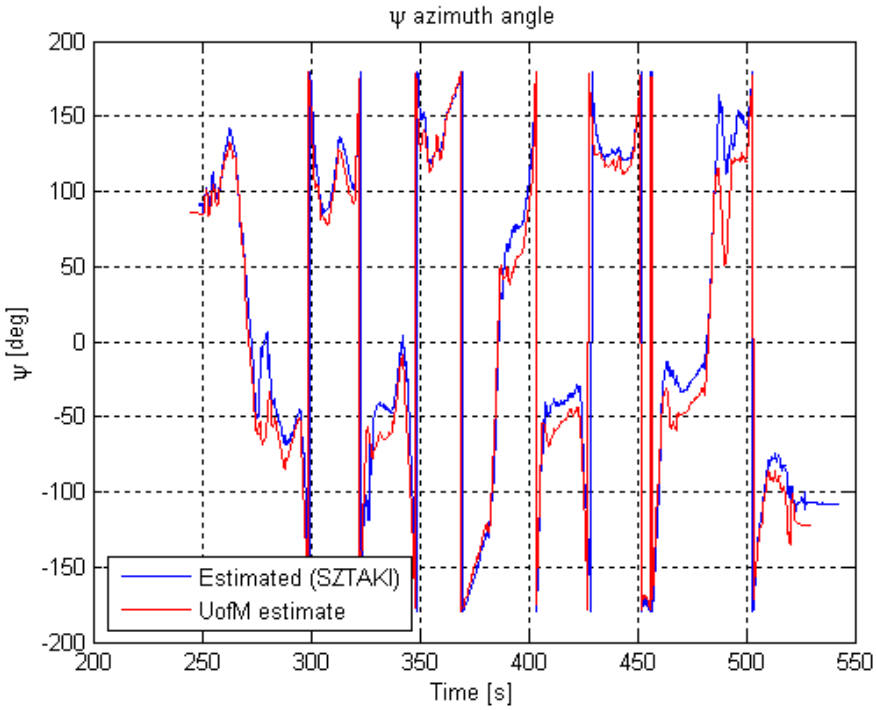
Mindez azt mutatja, hogy az új EKF-el kapott eredményektől ugyanúgy térnek el a régi eredmények, mint a Matlab által számolt HIL adatoktól. Ez valószínűsíti, hogy az új becslő pontosabb eredményeket ad.



16. ábra Repülés közben becsült bedöntési szög (SZTAKI = új EKF, UofM = régi)



17. ábra Repülés közben becsült bólintási szög (SZTAKI = új EKF, UofM = régi)



18. ábra Repülés közben becsült azimutszög (SZTAKI = új EKF, UofM = régi)

ÖSSZEGZÉS ÉS TOVÁBBLÉPÉS

Összegzésképpen elmondható, hogy a tesztelések alapján sikerült egy az eddigi megoldásokhoz képest pontosabb Euler szögeket becslő kibővített Kalman szűrőt kifejleszteni. Az új szűrő kétféle algoritmus (Heun és Euler formulás) szerint került megvalósításra Matlab-ban.

Mindkét megoldás hangolása és tesztelése először a HIL szimulációban gyűjtött, majd repülés közben gyűjtött adatokra történt meg. Az ellenőrzések azt mutatták, hogy minden esetben mindkét megoldás nagyon jó eredményeket ad.

A régi [1] megoldással összevetve úgy látszik, hogy sikerült annak hibáit az új módszerrel kijavítani. Így érdemes az új módszert a fedélzeti számítógépen is implementálni és tesztelni. Ehhez azonban el kell dönteni, hogy a Heun, vagy az Euler formula alapú módszer implementálása történjen meg. Az összevetések azt mutatták, hogy a két módszer közel azonos becslési hibákat és azonos futási időt is ad. A becslési eredményeket részletesebben vizsgálva a Heun módszer a rendszerben levő zajokat jobban elnyomja, ezért érdemes azt tesztelni (a zajok csökkentése a szabályozásban kiemelkedően fontos).

Így a fejlesztés következő lépése a Heun formula alapú módszer repülőgépen való implementálása és tesztelése.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] JANG Jung Soon – LICCARDO Darren: Automation of small UAVs using low cost MEMS sensor and embedded computing platform, Crossbow Technology Inc., San Jose, Califronia, 25th Digital Avionics System Conference, 15. October, 2006.

[2] LIU Cheng – ZHOU Zhaoying – FU Xu: Attitude determination for MAVs using a Kalman filter, Tsinghua Science and Technology, Vol. 13. Nr. 5. pp. 593-597, October, 2008.

[3] EHRMAN L. M. – LANTERMAN A. D.: Extended Kalman filter for estimating aircraft orientation from velocity measurements, IET Radar Sonar Navigation, Vol. 2. (1), pp. 12-16. 2008.

[4] BENZEMRANE Khadidja – DAMM Gilney – SANTOSUOSSO G. L.: Nonlinear adaptive observer for unmanned aerial vehicle without GPS measurement, ECC'09 proceedings, 23-26. August 2009.

[5] MAZZONI Thomas: Computational aspects of continuous-discrete extended Kalman-filtering, 23. 04. 2007.

[6] BAUER Peter: L_ahrs.pdf: documentation about the AHRS algorithm of UofM software, Systems and Control Laboratory, CARI, HAS, 2009.

[7] BAUER Peter: Calculation of the mNAV S/N 0521019459 noise covariance matrices, Systems and Control Laboratory, CARI, HAS, 2009.

[8] LANTOS Béla: Irányítási rendszerek elmélete és tervezése II, Korszerű szabályozási rendszerek, Akadémiai kiadó, Budapest, 2003.

[9] UAV Research Group: http://www.aem.umn.edu/~uav/index.html

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. BÉKÉSI, Bertold[1]

ATTITUDE INSTRUMENT FLYING IN HELICOPTERS

INTRODUCTION

Attitude instrument flying in helicopters is essentially visual flying with the flight instruments substituted for the various reference points on the helicopter and the natural horizon. Control changes, required to produce a given attitude by reference to instruments, are identical to those used in helicopter VFR flight, and your thought processes are the same. Basic instrument training is intended as a building block towards attaining an instrument rating. It will also enable you to do a 180° turn in case of inadvertent incursion into instrument meteorological conditions (IMC).

FLIGHT INSTRUMENTS

When flying a helicopter with reference to the flight instruments, proper instrument interpretation is the basis for aircraft control. Your skill, in part, depends on your understanding of how a particular instrument or system functions, including its indications and limitations. With this knowledge, you can quickly determine what an instrument is telling you and translate that information into a control response.

PITOT-STATIC SYSTEMS

Pitot pressure, or impact air pressure, is sensed through an open-end tube pointed directly into the relative wind flowing around the aircraft. The pitot tube connects to pressure operated flight instruments such as the airspeed indicator (ASI) [5].

Static Pressure

Other instruments depend upon accurate sampling of the ambient still air atmospheric pressure to determine the height and speed of movement of the aircraft through the air, both horizontally and vertically. This pressure, called static pressure, is sampled at one or more locations outside the helicopters. The pressure of the static air is sensed at a flush port where the air is not disturbed. On some aircraft, air is sampled by static ports on the side of the electrically heated pitot-static head [Figure 1]. Other aircraft pick up the static pressure through flush ports on the side of the fuselage or the vertical fin. These ports are in locations proven by flight tests to be in undisturbed air, and they are normally paired, one on either side of the

[1] Lt. Col. Head of Department, Associate Professor Miklós Zrínyi National Defense University Bolyai János Military Technical Faculty Aviation Training and Air Defense Institute Department of Aircraft Onboard Systems Address: H-5008 Szolnok, POB. 1., Email: bekesi.bertold@zmne.hu Web: www.szrfk.hu

aircraft. This dual location prevents lateral movement of the aircraft from giving erroneous static pressure indications. The areas around the static ports may be heated with electric heater elements to prevent ice forming over the port and blocking the entry of the static air [2, 5] .

Three basic pressure-operated instruments are found in most aircraft instrument panels. These are the sensitive altimeter, ASI, and vertical speed indicator (VSI). All three receive pressures sensed by the aircraft pitot-static system. The static ports supply pressure to the ASI, altimeter, and VSI.

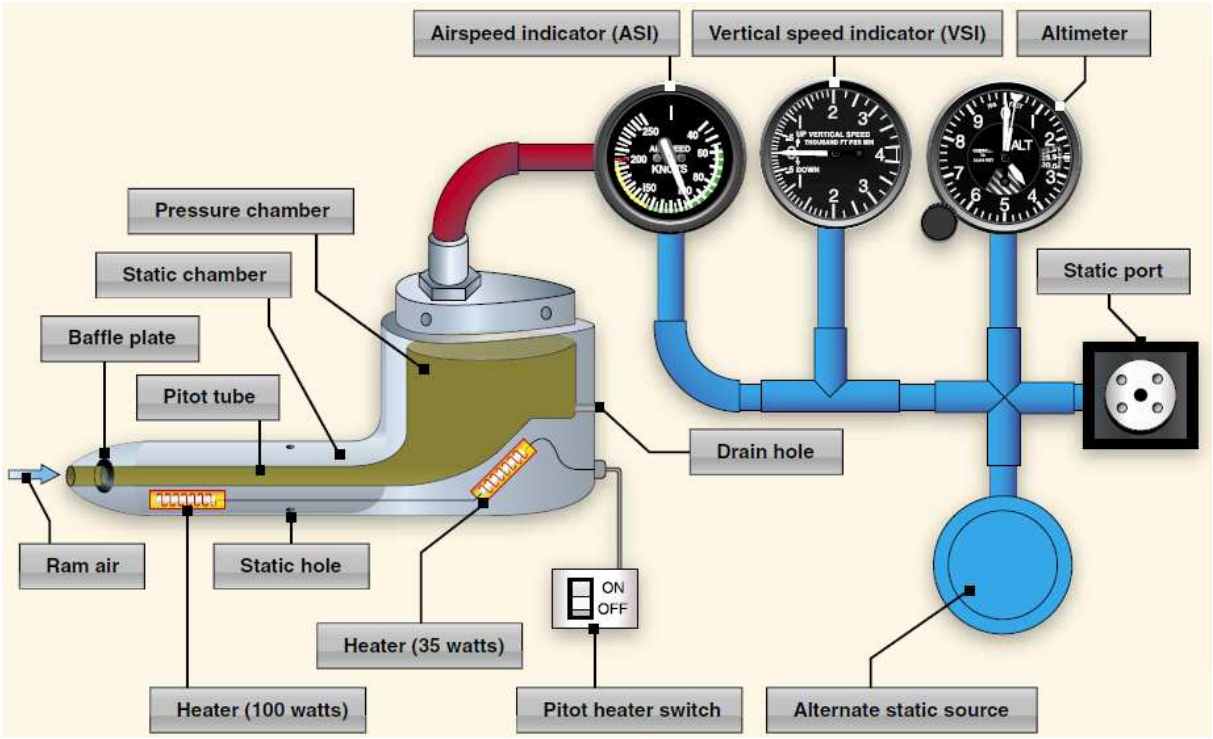


Figure 1. A Typical Electrically Heated Pitot-Static Head [2].

Blockage Considerations

The pitot tube is particularly sensitive to blockage especially by icing. Even light icing can block the entry hole of the pitot tube where ram air enters the system. This affects the ASI and is the reason most airplanes are equipped with a pitot heating system.

Indications of Pitot Tube Blockage

If the pitot tube becomes blocked, the ASI displays inaccurate speeds. At the altitude where the pitot tube becomes blocked, the ASI remains at the existing airspeed and doesn't reflect actual changes in speed.

- At altitudes above where the pitot tube became blocked, the ASI displays a higher-than-actual airspeed increasing steadily as altitude increases.
- At lower altitudes, the ASI displays a lower-than-actual airspeed decreasing steadily as altitude decreases.

Indications from Static Port Blockage

Many aircraft also have a heating system to protect the static ports to ensure the entire pitot-static system is clear of ice. If the static ports become blocked, the ASI would still function but could produce inaccurate indications. At the altitude where the blockage occurs, airspeed indications would be normal.

- At altitudes above which the static ports became blocked, the ASI displays a lower-than-actual airspeed continually decreasing as altitude is increased.
- At lower altitudes, the ASI displays a higher-than-actual airspeed increasing steadily as altitude decreases.

The trapped pressure in the static system causes the altimeter to remain at the altitude where the blockage occurred. The VSI remains at zero. On some aircraft, an alternate static air source valve is used for emergencies. [Figure 2] If the alternate source is vented inside the airplane, where static pressure is usually lower than outside static pressure, selection of the alternate source may result in the following erroneous instrument indications:

1. Altimeter reads higher than normal,
2. Indicated airspeed (IAS) reads greater than normal, and
3. VSI momentarily shows a climb. Consult the Pilot's Operating Handbook/Airplane Flight Manual (POH/AFM) to determine the amount of error.

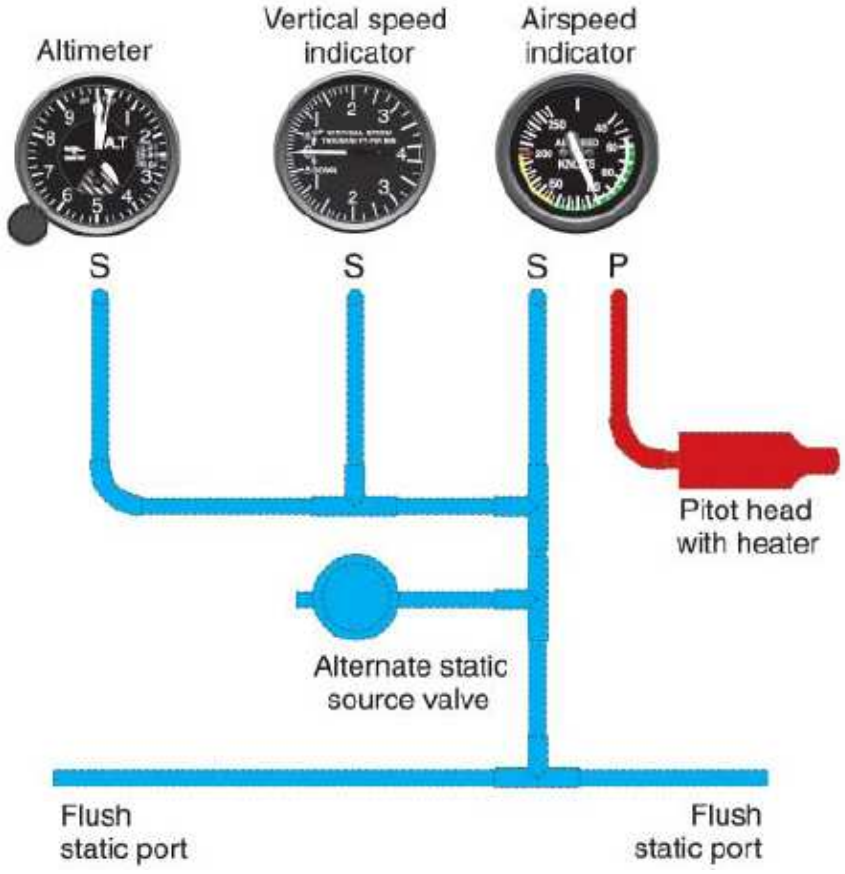


Figure 2. A Typical Pitot-Static System [5].

Effects of Flight Conditions

The static ports are located in a position where the air at their surface is as undisturbed as possible. But under some fl ight conditions, particularly at a high angle of attack with the landing gear and flaps down, the air around the static port may be disturbed to the extent that it can cause an error in the indication of the altimeter and ASI. Because of the importance of accuracy in these instruments, part of the certifi cation tests for an aircraft is a check of position error in the static system.

The POH/AFM contains any corrections that must be applied to the airspeed for the various configurations of flaps and landing gear.

PITOT-STATIC INSTRUMENTS

The pitot-static instruments, which include the airspeed indicator, altimeter, and vertical speed indicator, operate on the principle of differential air pressure. Pitot pressure, also called impact, ram, or dynamic pressure, is directed only to the airspeed indicator, while static pressure, or ambient pressure, is directed to all three instruments. An alternate static source may be included allowing you to select an alternate source of ambient pressure in the event the main port becomes blocked.

Airspeed indicator (ASI)

The airspeed indicator displays the speed of the helicopter through the air by comparing ram air pressure from the pitot tube with static air pressure from the static port—the greater the differential, the greater the speed. The instrument displays the result of this pressure differential as indicated airspeed (IAS) [6].

Manufacturers use this speed as the basis for determining helicopter performance, and it may be displayed in knots, miles per hour, or both. [Figure 3] When an indicated airspeed is given for a particular situation, you normally use that speed without making a correction for altitude or temperature. The reason no correction is needed is that an airspeed indicator and aircraft performance are affected equally by changes in air density. An indicated airspeed always yields the same performance because the indicator has, in fact, compensated for the change in the environment.

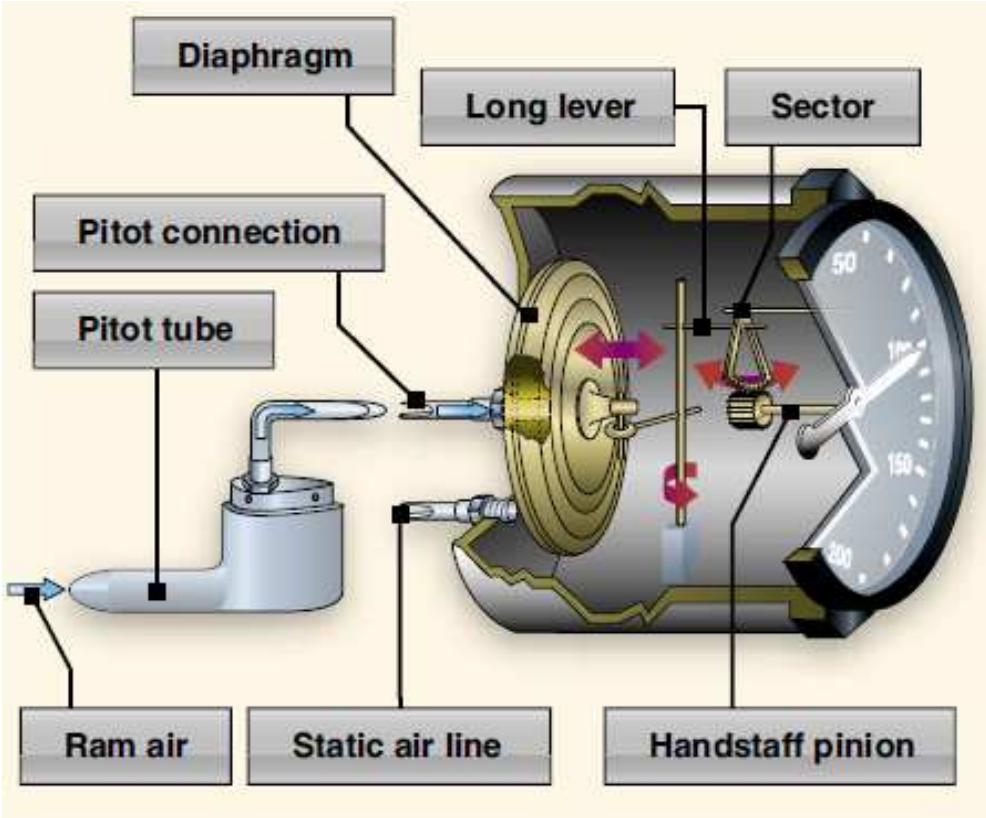


Figure 3. Mechanism of an Airspeed Indicator [2].

INSTRUMENT CHECK—During the preflight, ensure that the pitot tube, drain hole, and static ports are unobstructed. Before liftoff, make sure the airspeed indicator is reading zero. If there is a strong wind blowing directly at the helicopter, the airspeed indicator may read higher than zero, depending on the wind speed and direction. As you begin your takeoff, make sure the airspeed indicator is increasing at an appropriate rate. Keep in mind, however, that the airspeed indication might be unreliable below a certain airspeed due to rotor downwash.

Altimeter

The altimeter displays altitude in feet by sensing pressure changes in the atmosphere. There is an adjustable barometric scale to compensate for changes in atmospheric pressure. [Figure 4]

The basis for altimeter calibration is the International Standard Atmosphere (ISA), where pressure, temperature, and lapse rates have standard values. However, actual atmospheric conditions seldom match the standard values. In addition, local pressure readings within a given area normally change over a period of time, and pressure frequently changes as you fly from one area to another. As a result, altimeter indications are subject to errors, the extent of which depends on how much the pressure, temperature, and lapse rates deviate from standard, as well as how recently you have set the altimeter. The best way to minimize altimeter errors is to update the altimeter setting frequently. In most cases, use the current altimeter setting of the nearest reporting station along your route of flight per regulatory requirementsv [1, 2, 4, 5, 6].

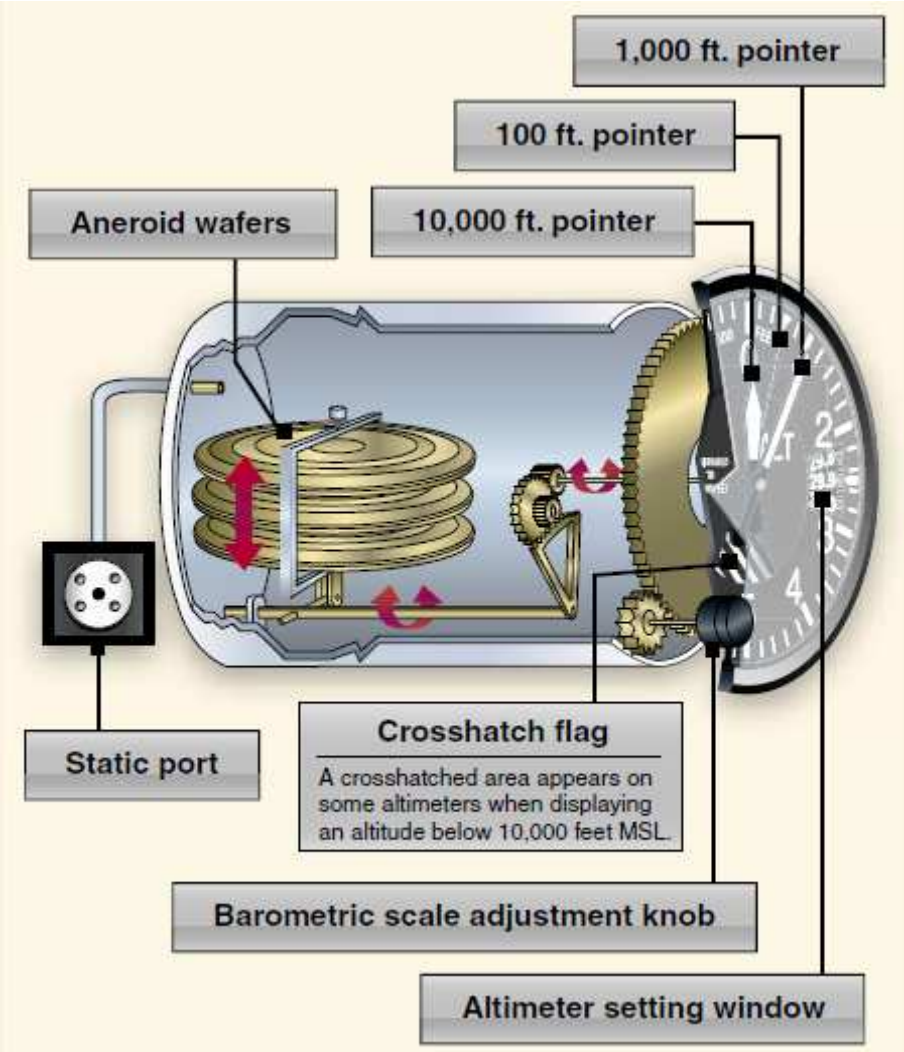


Figure 4. Altimeter [2]

INSTRUMENT CHECK—During the preflight, ensure that the static ports are unobstructed. Before lift-off, set the altimeter to the current setting. If the altimeter indicates within 75 feet of the actual elevation, the altimeter is generally considered acceptable for use.

Vertical speed indicator

The vertical speed indicator (VSI) displays the rate of climb or descent in feet per minute (f.p.m.) by measuring how fast the ambient air pressure increases or decreases as the helicopter changes altitude. Since the VSI measures only the rate at which air pressure changes, air temperature has no effect on this instrument. [Figure 5] [1, 2, 4, 5, 6].

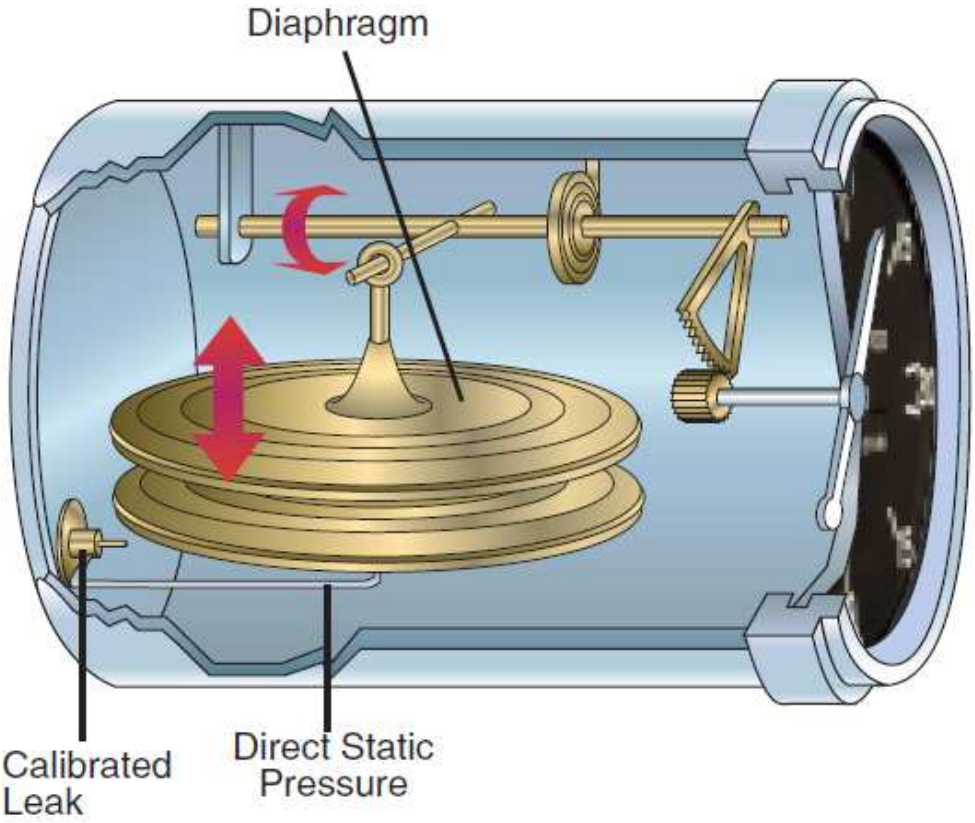


Figure 5. Vertical speed indicator (VSI) [6].

There is a lag associated with the reading on the VSI, and it may take a few seconds to stabilize when showing rate of climb or descent. Rough control technique and turbulence can further extend the lag period and cause erratic and unstable rate indications. Some aircraft are equipped with an instantaneous vertical speed indicator (IVSI), which incorporates accelerometers to compensate for the lag found in the typical VSI.

INSTRUMENT CHECK—During the preflight, ensure that the static ports are unobstructed. Check to see that the VSI is indicating zero before lift-off. During takeoff, check for a positive rate of climb indication.

System errors

The pitot-static system and associated instruments are usually very reliable. Errors are generally caused when the pitot or static openings are blocked. This may be caused by dirt, ice formation, or insects. Check the pitot and static openings for obstructions during the preflight. It is also advisable to place covers on the pitot and static ports when the helicopter is parked on the ground.

The airspeed indicator is the only instrument affected by a blocked pitot tube. The system can become clogged in twoways. If the ram air inlet is clogged, but the drain hole remains open, the airspeed indicator registers zero, regardless of airspeed. If both the ram air inlet and the drain hole become blocked, pressure in the line is trapped, and the airspeed indicator reacts like an altimeter, showing an

increase in airspeed with an increase in altitude, and a decrease in speed as altitude decreases. This occurs as long as the static port remains unobstructed.

If the static port alone becomes blocked, the airspeed indicator continues to function, but with incorrect readings. When you are operating above the altitude where the static port became clogged, the airspeed indicator reads lower than it should. Conversely, when operating below that altitude, the indicator reads higher than the correct value. The amount of error is proportional to the distance from the altitude where the static system became blocked. The greater the difference, the greater the error. With a blocked static system, the altimeter freezes at the last altitude and the VSI freezes at zero.

Both instruments are then unusable. Some helicopters are equipped with an alternate static source, which may be selected in the event that the main static system becomes blocked. The alternate source generally vents into the cabin, where air pressures are slightly different than outside pressures, so the airspeed and altimeter usually read higher than normal. Correction charts may be supplied in the flight manual.

GYROSCOPIC INSTRUMENTS

The three gyroscopic instruments that are required for instrument flight are the attitude indicator, heading indicator, and turn indicator. When installed in helicopters, these instruments are usually electrically powered.

Gyros are affected by two principles—rigidity in space and precession. Rigidity in space means that once a gyro is spinning, it tends to remain in a fixed position and resists external forces applied to it. This principle allows a gyro to be used to measure changes in attitude or direction.

Precession is the tilting or turning of a gyro in response to pressure. The reaction to this pressure does not occur at the point where it was applied; rather, it occurs at a point that is 90° later in the direction of rotation from where the pressure was applied. This principle allows the gyro to determine a rate of turn by sensing the amount of pressure created by a change in direction. Precession can also create some minor errors in some instruments.

Attitude indicator

The attitude indicator provides a substitute for the natural horizon. It is the only instrument that provides an immediate and direct indication of the helicopter's pitch and bank attitude. Since most attitude indicators installed in helicopters are electrically powered, there may be a separate power switch, as well as a warning flag within the instrument, that indicates a loss of power. A caging or "quick erect" knob may be included, so you can stabilize the spin axis if the gyro has tumbled. [Figure 6]

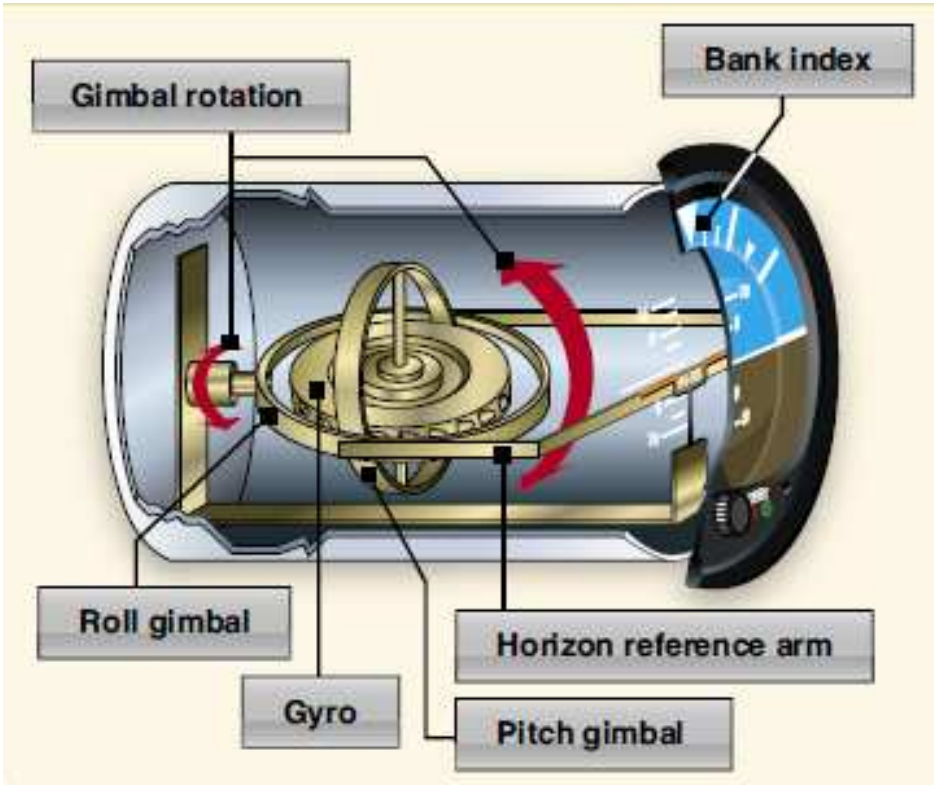


Figure 6. Attitude indicator [2]

Every pilot should be able to interpret the banking scale illustrated in Figure 7. Most banking scale indicators on the top of the instrument move in the same direction from that in which the aircraft is actually banked. Some other models move in the opposite direction from that in which the aircraft is actually banked. This may confuse the pilot if the indicator is used to determine the direction of bank. This scale should be used only to control the degree of desired bank. The relationship of the miniature aircraft to the horizon bar should be used for an indication of the direction of bank. The attitude indicator is reliable and the most realistic flight instrument on the instrument panel. Its indications are very close approximations of the actual attitude of the aircraft [1, 2, 5, 6].

Figure 7. Attitude representation by the attitude indicator corresponds to the relation of the aircraft to the real horizon [2].

Heading indicator

The heading indicator, which is sometimes referred to as a directional gyro (DG), senses movement around the vertical axis and provides a more accurate heading reference compared to a magnetic compass, which has a number of turning errors. [Figure 8].

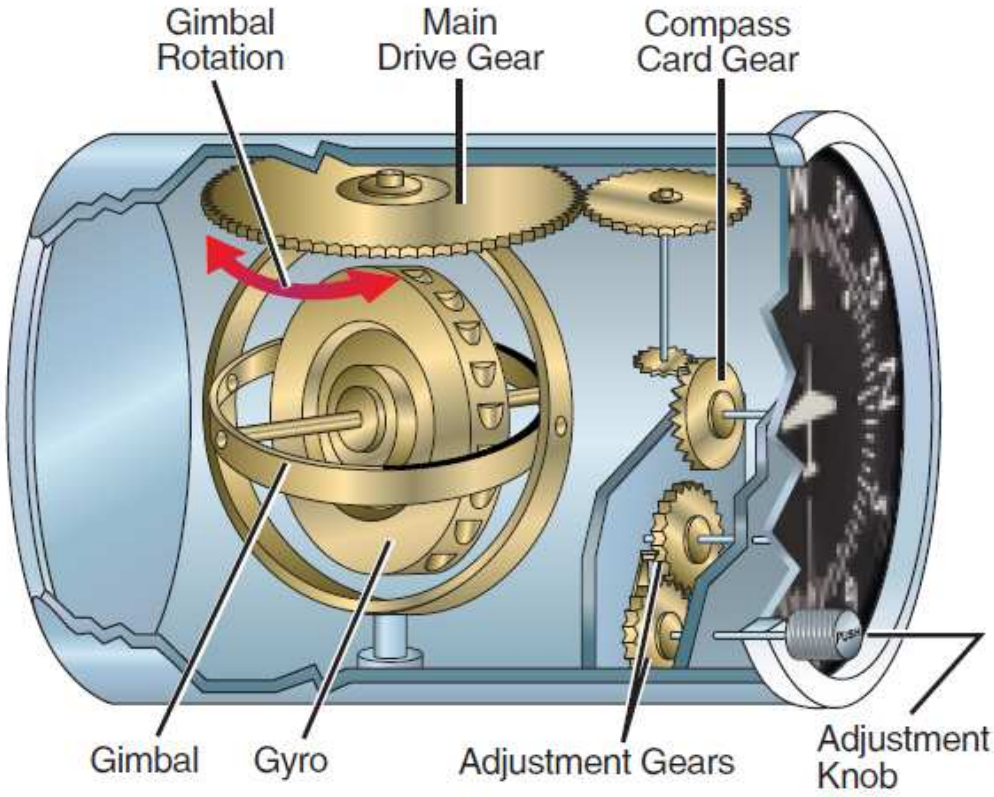


Figure 8. A heading indicator displays headings based on a 360° azimuth, with the final zero omitted. For example, a 6 represents 060°, while a 21 indicates 210°. The adjustment knob is used to align the heading indicator with the magnetic compass [6].

Due to internal friction within the gyroscope, precession is common in heading indicators. Precession causes the selected heading to drift from the set value. Some heading indicators receive a magnetic north reference from a remote source and generally need no adjustment. Heading indicators that do not have this automatic north-seeking capability are often called "free" gyros, and require that you periodically adjust them. You should align the heading indicator with the magnetic compass before flight and check it at 15 minute intervals during flight. When you do an in-flight alignment, be certain you are in straight-and-level, unaccelerated flight, with the magnetic compass showing a steady indication.

Turn indicators

Turn indicators show the direction and the rate of turn. A standard rate turn is 3° per second, and at this rate you will complete a 360° turn in two minutes. A halfstandard rate turn is 1.5° per second. Two types of indicators are used to display this information. The turn-and-slip indicator uses a needle to indicate direction and turn rate. When the needle is aligned with the white markings, called the turn index, you are in a standard rate turn. A half-standard rate turn is indicated when the needle is halfway between the indexes. The turn-and-slip indicator does not indicate roll rate. The turn coordinator is similar to the turn-and-slip indicator, but the gyro is canted, which allows it to sense roll rate in addition to rate of turn. The turn coordinator uses a miniature aircraft to indicate direction, as well as the turn and roll rate. [Figure 9]

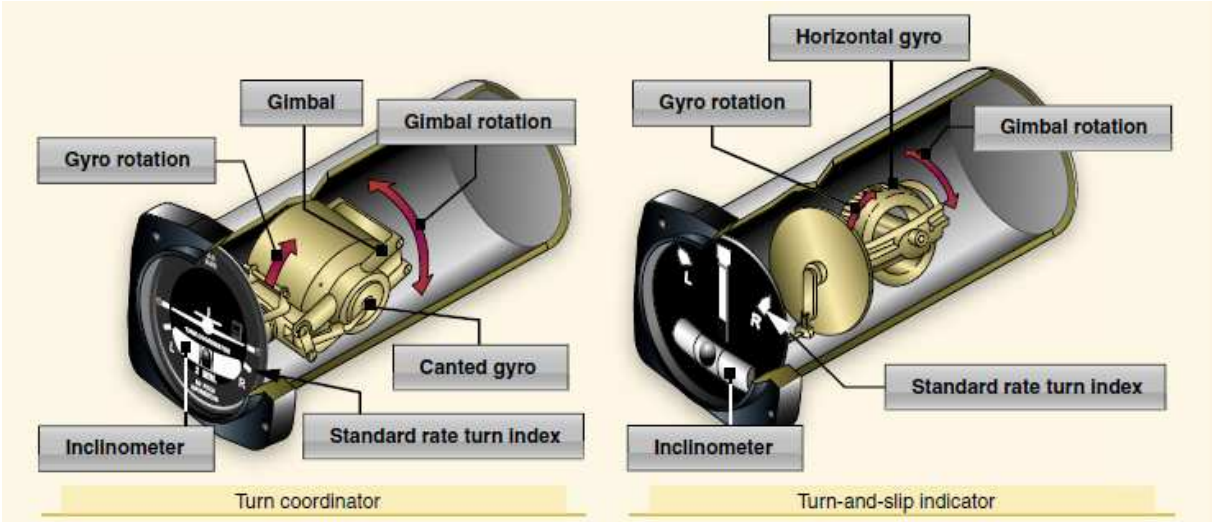


Figure 9. The turn coordinator and the turn-and-slip indicator [2]

Another part of both the turn coordinator and the turn-and-slip indicator is the inclinometer. The position of the ball defines whether the turn is coordinated or not. The helicopter is either slipping or skidding anytime the ball is not centered, and usually requires an adjustment of the antitorque pedals or angle of bank to correct it. [Figure 10]

Figure 10. In a coordinated turn (instrument 1), the ball is centered. In a skid (instrument 2), the rate of turn is too great for the angle of bank, and the ball moves to the outside of the turn. Conversely, in a slip (instrument 3), the rate of turn is too small for the angle of bank, and the ball moves to the inside of the turn [6].

INSTRUMENT CHECK—During your preflight, check to see that the inclinometer is full of fluid and has no air bubbles. The ball should also be resting at its lowest point. Since almost all gyroscopic instruments installed in a helicopter are electrically driven, check to see that the power indicators are displaying off indications.

Turn the master switch on and listen to the gyros spool up. There should be no abnormal sounds, such as a grinding sound, and the power out indicator flags should not be displayed. After engine start and before liftoff, set the direction indicator to the magnetic compass.

During hover turns, check the heading indicator for proper operation and ensure that it has not precessed significantly. The turn indicator should also indicate a turn in the correct direction. During takeoff, check the attitude indicator for proper indication and recheck it during the first turn.

MAGNETIC COMPASS

In some helicopters, the magnetic compass is the only direction seeking instrument. Although the compass appears to move, it is actually mounted in such a way that the helicopter turns about the compass card as the card maintains its alignment with magnetic north.

Compass errors

The magnetic compass can only give you reliable directional information if you understand its limitations and inherent errors. These include magnetic variation, compass deviation, and magnetic dip.

Magnetic variation

When you fly under visual flight rules, you ordinarily navigate by referring to charts, which are oriented to true north. Because the aircraft compass is oriented to magnetic north, you must make allowances for the difference between these poles in order to navigate properly. You do this by applying a correction called variation to convert a true direction to a magnet direction.

Variation at a given point is the angular difference between the true and magnetic poles. The amount of variation depends on where you are located on the earth's surface. Isogonic lines connect points where the variation is equal, while the agonic line defines the points where the variation is zero. [Figure 11]

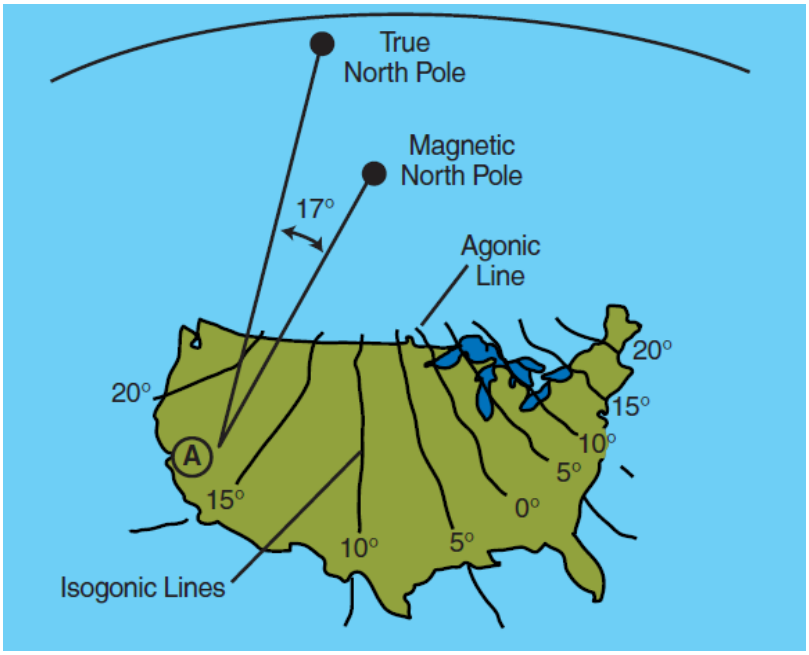


Figure 11. Variation at point A in the western United States is 17°. Since the magnetic north pole is located to the east of the true north pole in relation to this point, the variation is easterly. When the magnetic pole falls to the west of the true north pole, variation is westerly [6].

Compass deviation

Besides the magnetic fields generated by the earth, other magnetic fields are produced by metal and electrical accessories within the helicopter. These magnetic fields distort the earth's magnet force and cause the compass to swing away from the correct heading. Manufacturers often install compensating magnets within the compass housing to reduce the effects of deviation. These magnets are usually adjusted while the engine is running and all electrical equipment is operating. Deviation error, however, cannot be completely eliminated; therefore, a compass correction card is mounted near the compass. The compass correction card corrects for deviation that occurs from one heading to the next as the lines of force interact at different angles.

Magnetic dip

Magnetic dip is the result of the vertical component of the earth's magnetic field. This dip is virtually nonexistent at the magnetic equator, since the lines of force are parallel to the earth's surface and the vertical component is minimal. As you move a compass toward the poles, the vertical component increases, and magnetic dip becomes more apparent at these higher latitudes. Magnetic dip is responsible for compass errors during acceleration, deceleration, and turns.

Acceleration and deceleration errors are fluctuations in the compass during changes in speed. In the northern hemisphere, the compass swings toward the north during acceleration and toward the south during deceleration.

When the speed stabilizes, the compass returns to an accurate indication. This error is most pronounced when you are flying on a heading of east or west, and decreases gradually as you fly closer to a north or south heading. The error does not occur when you are flying directly north or south. The memory aid, ANDS (Accelerate North, Decelerate South) may help you recall this error. In the southern hemisphere, this error occurs in the opposite direction.

Turning errors are most apparent when you are turning to or from a heading of north or south. This error increases as you near the poles as magnetic dip becomes more apparent. There is no turning error when flying near the magnetic equator. In the northern hemisphere, when you make a turn from a northerly heading, the compass gives an initial indication of a turn in the opposite direction. It then begins to show the turn in the proper direction, but lags behind the actual heading.

The amount of lag decreases as the turn continues, then disappears as the helicopter reaches a heading of east or west. When you make a turn from a southerly heading, the compass gives an indication of a turn in the correct direction, but leads the actual heading. This error also disappears as the helicopter approaches an east or west heading.

INSTRUMENT CHECK—Prior to flight, make sure that the compass is full of fluid. During hover turns, the compass should swing freely and indicate known headings. Since that magnetic compass is required for all flight operations, the aircraft should never be flown with a faulty compass.

SUMMARY

Flight instruments enable an helicopters to be operated with maximum performance and enhanced safety, especially when flying long distances. Manufacturers provide the necessary flight instruments, but to use them effectively, pilots need to understand how they operate. As a pilot, it is important to become very familiar with the operational aspects of the pitot-static system and associated instruments, the vacuum system and associated instruments, the gyroscopic instruments, and the magnetic compass.

References

[1] Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration Flight Standards Service, (FAA-H-8083-25), 2003.
[2] Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration Flight Standards Service, (FAA-H-8083-25A), 2008. http://www.faa.gov/library/manuals/aviation/pilot_handbook/
[3] JAA-ATPL-Instrumentation. Oxford Aviation Jeppesen, 2001.
[4] Flight Instruments. http://www.answers.com/topic/flight-instruments
[5] Instrument Flying Handbook U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration Flight Standards Service, Chapter 3., Chapter 4. Section I. (FAA-H-8083-15A) 2008.
[6] Rotorcraft Flying Handbook U.S. Department of Transportation Federalaviation Administration Flight Standards Service 2000.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. BÉKÉSI, Bertold[1]

NIGHT FLIGHT OPERATIONS

INTRODUCTION

Flying at night can be a very pleasant experience. The air is generally cooler and smoother, resulting in better helicopter performance and a more comfortable flight. You generally also experience less traffic and less radio congestion.

Nevertheless the human eye in the darkness easily can be slammed. They may be the very serious consequences of this in the night flight operation. We call attention to these typical danger situations in this article.

NIGHT FLIGHT PHYSIOLOGY

Before discussing night operations, it is important you understand how your vision is affected at night and how to counteract the visual illusions, which you might encounter.

Vision in flight

Vision is by far the most important sense that you have, and flying is obviously impossible without it. Most of the things you perceive while flying are visual or heavily supplemented by vision. The visual sense is especially important in collision avoidance and depth perception. Your vision sensors are your eyes, even though they are not perfect in the way they function or see objects. Since your eyes are not always able to see all things at all times, illusions and blindspots occur. The more you understand the eye and how it functions, the easier it is to compensate for these illusions and blindspots.

The eye

The eye works in much the same way as a camera. Both have an aperture, lens, method of focusing, and a surface for registering images [Figure 1].

Vision is primarily the result of light striking a photosensitive layer, called the retina, at the back of the eye. The retina is composed of light-sensitive cones and rods. The cones in your eye perceive an image best when the light is bright, while the rods work best in low light.

[1] Lt. Col. Head of Department, Associate Professor Miklós Zrínyi National Defense University Bolyai János Military Technical Faculty Aviation Training and Air Defense Institute Department of Aircraft Onboard Systems Address: H-5008 Szolnok, POB. 1., Email: bekesi.bertold@zmne.hu Web: www.szrfk.hu

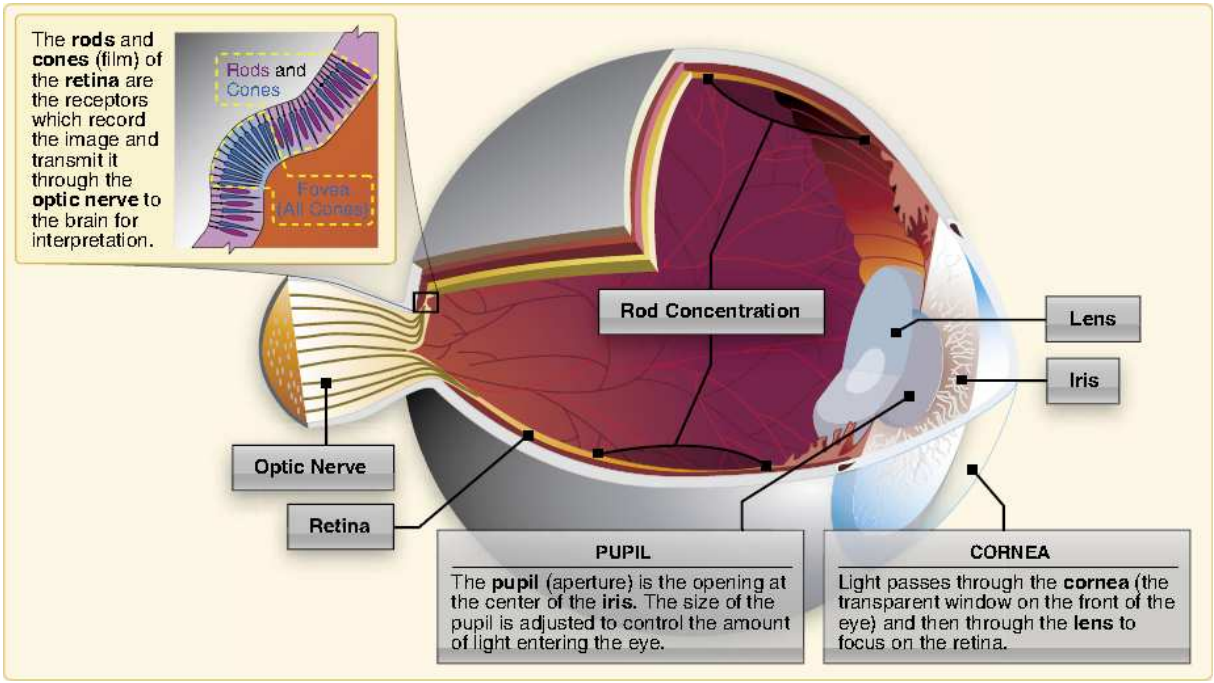


Figure 1. A camera is able to focus on near and far objects by changing the distance between the lens and the film. You can see objects clearly at various distances because the shape of your eye's lens is changed automatically by small muscles. [2]

The pattern of light that strikes the cones and rods is transmitted as electrical impulses by the optic nerve to the brain where these signals are interpreted as an image. The area where the optic nerve meets the retina contains no cones or rods, creating a blind spot in vision [1, 2, 3]. Normally, each eye compensates for the other's blind spot. [Figure 2]

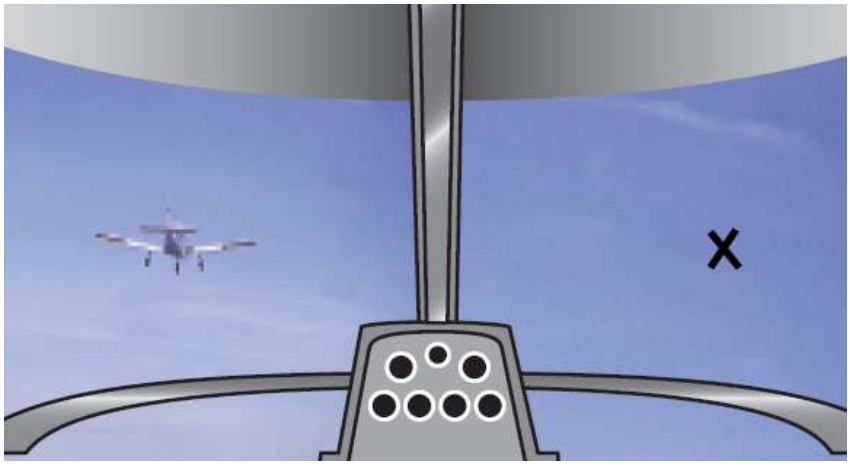


Figure 2. This illustration provides a dramatic example of the eye's blind spot. Cover your right eye and hold this page at arm's length. Focus your left eye on the X in the right side of the visual, and notice what happens to the aircraft as you slowly bring the page closer to your eye [3].

Cones

Cones are concentrated around the center of the retina. They gradually diminish in number as the distance from the center increases. Cones allow you to perceive color by sensing red, blue, and green light.

Directly behind the lens, on the retina, is a small, notched area called the fovea. This area contains only a high concentration of cone receptors. When you look directly at an object, the image is focused mainly on the fovea. The cones, however, do not function well in darkness, which explains why you cannot see color as vividly at night as you can during the day. [Figure 3]

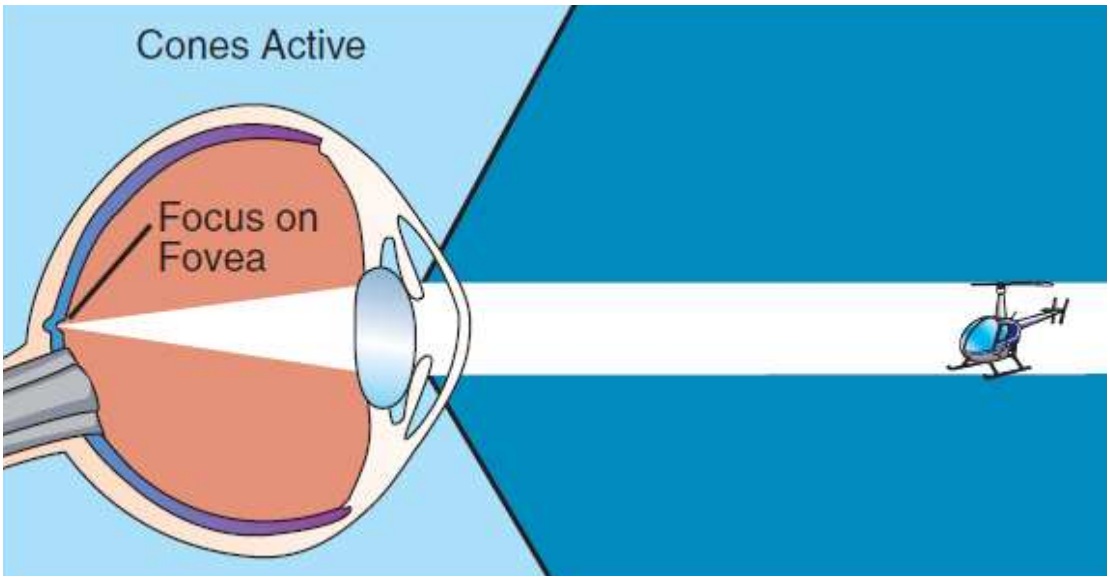


Figure 3. The best vision in daylight is obtained by looking directly at the object. This focuses the image on the fovea, where detail is best seen [3].

Rods

The rods are our dim light and night receptors and are concentrated outside the fovea area. The number of rods increases as the distance from the fovea increases.

Rods sense images only in black and white. Because the rods are not located directly behind the pupil, they are responsible for much of our peripheral vision.

Images that move are perceived more easily by the rod areas than by the cones in the fovea. If you have ever seen something move out of the corner of your eye, it was most likely detected by your rod receptors. Since the cones do not function well in the dark, you may not be able to see an object if you look directly at it. The concentration of cones in the fovea can make a night blindspot at the center of your vision. To see an object clearly, you must expose the rods to the image.

This is accomplished by looking 5° to 10° off center of the object you want to see. You can try out this effect on a dim light in a darkened room. When you look directly at the light, it dims or disappears altogether. If you look slightly off center, it becomes clearer and brighter. [Figure 4]

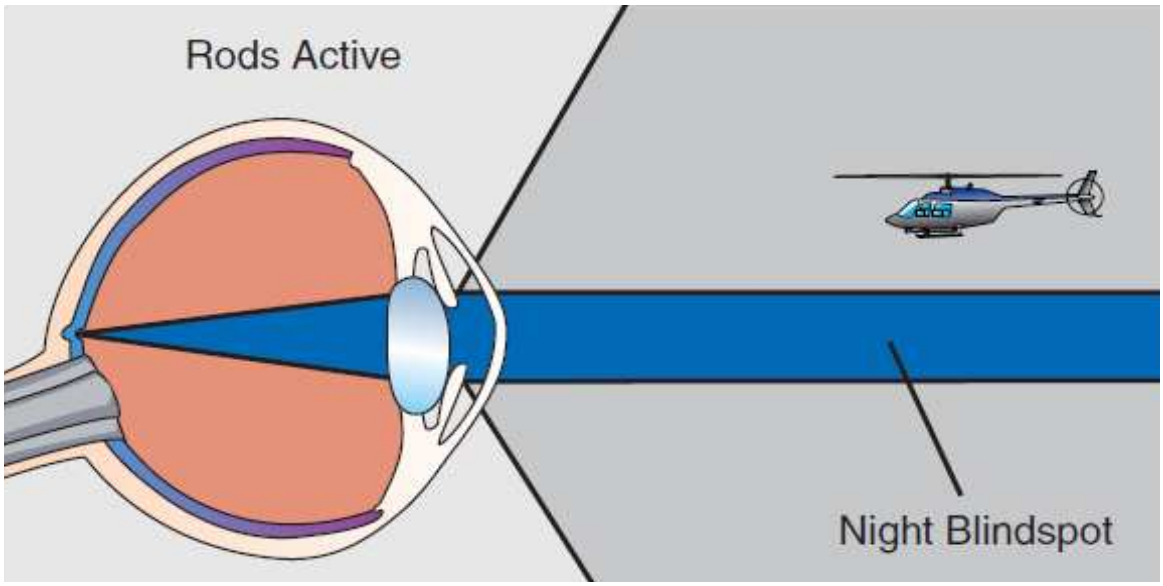


Figure 4. In low light, the cones lose much of their visual acuity, while rods become more receptive. The eye sacrifices sharpness for sensitivity. Your ability to see an object directly in front of you is reduced, and you lose much of your depth perception, as well as your judgment of size [3].

How well you see at night is determined by the rods in your eyes, as well as the amount of light allowed into your eyes. The wider the pupil is open at night, the better your night vision becomes.

Night vision

The cones in your eyes adapt quite rapidly to changes in light intensities, but the rods do not. If you have ever walked from bright sunlight into a dark movie theater, you have experienced this dark adaptation period. The rods can take approximately 30 minutes to fully adapt to the dark. Abright light, however, can completely destroy your night adaptation and severely restrict your visual acuity.

There are several things you can do to keep your eyes adapted to the dark. The first is obvious; avoid bright lights before and during the flight. For 30 minutes before a night flight, avoid any bright light sources, such as headlights, landing lights, strobe lights, or flashlights. If you encounter a bright light, close one eye to keep it light sensitive. This allows you to see again once the light is gone. Light sensitivity also can be gained by using sunglasses if you will be flying from daylight into an area of increasing darkness.

Red cockpit lighting also helps preserve your night vision, but red light severely distorts some colors, and completely washes out the color red. This makes reading an aeronautical chart difficult. A dim white light or carefully directed flashlight can enhance your night reading ability. While flying at night, keep the instrument panel and interior lights turned up no higher than necessary. This helps you see outside visual references more easily. If your eyes become blurry, blinking more frequently often helps.

Your diet and general physical health have an impact on how well you can see in the dark. Deficiencies in vitamins Aand C have been shown to reduce night acuity. Other factors, such as

carbon monoxide poisoning, smoking, alcohol, certain drugs, and a lack of oxygen also can greatly decrease your night vision.

Night scanning

Good night visual acuity is needed for collision avoidance. Night scanning, like day scanning, uses a series of short, regularly spaced eye movements in 10° sectors. Unlike day scanning, however, off-center viewing is used to focus objects on the rods rather than the fovea blindspot. When you look at an object, avoid staring at it too long. If you stare at an object without moving your eyes, the retina becomes accustomed to the light intensity and the image begins to fade. To keep it clearly visible, new areas in the retina must be exposed to the image. Small, circular eye movements help eliminate the fading. You also need to move your eyes more slowly from sector to sector than during the day to prevent blurring.

Aircraft lighting

In order to see other aircraft more clearly, regulations require that all aircraft operating during the night hours have special lights and equipment. In addition to aircraft lighting, the regulations also provide a definition of nighttime, currency requirements, fuel reserves, and necessary electrical systems.

Position lights enable you to locate another aircraft, as well as help you determine its direction of flight. The approved aircraft lights for night operations are a green light on the right cabin side or wingtip, a red light on the left cabin side or wingtip, and a white position light on the tail. In addition, flashing aviation red or white anticollision lights are required for night flights. These flashing lights can be in a number of locations, but are most commonly found on the top and bottom of the cabin. [Figure 5]

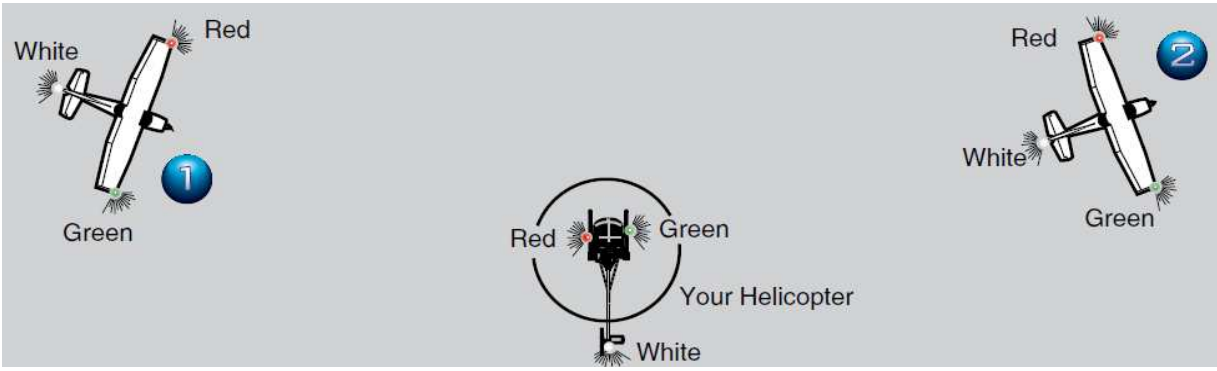


Figure 5. By interpreting the position lights on other aircraft, you can determine whether the aircraft is flying away from you or is on a collision course. If you see a red position light to the right of a green light, such as shown by aircraft number 1, it is flying toward you. You should watch this aircraft closely and be ready to change course. Aircraft number 2, on the other hand, is flying away from you, as indicated by the white position light.

NIGHT VISUAL ILLUSIONS

There are many different types of visual illusions that you can experience at any time, day or night. The next few paragraphs cover some of the illusions that commonly occur at night.

Autokinesis

Autokinesis is caused by staring at a single point of light against a dark background, such as a ground light or bright star, for more than a few seconds. After a few moments, the light appears to move on its own. To prevent this illusion, you should focus your eyes on objects at varying distances and not fixate on one target, as well as maintain a normal scan pattern.

Night myopia

Another problem associated with night flying is night myopia, or night-induced nearsightedness. With nothing to focus on, your eyes automatically focus on a point just slightly ahead of your aircraft. Searching out and focusing on distant light sources, no matter howdim, helps prevent the onset of night myopia.

False horizon

A false horizon can occur when the natural horizon is obscured or not readily apparent. It can be generated by confusing bright stars and city lights. [Figure 6] It can also occur while you are flying toward the shore of an ocean or a large lake. Because of the relative darkness of the water, the lights along the shoreline can be mistaken for the stars in the sky. [Figure 7]

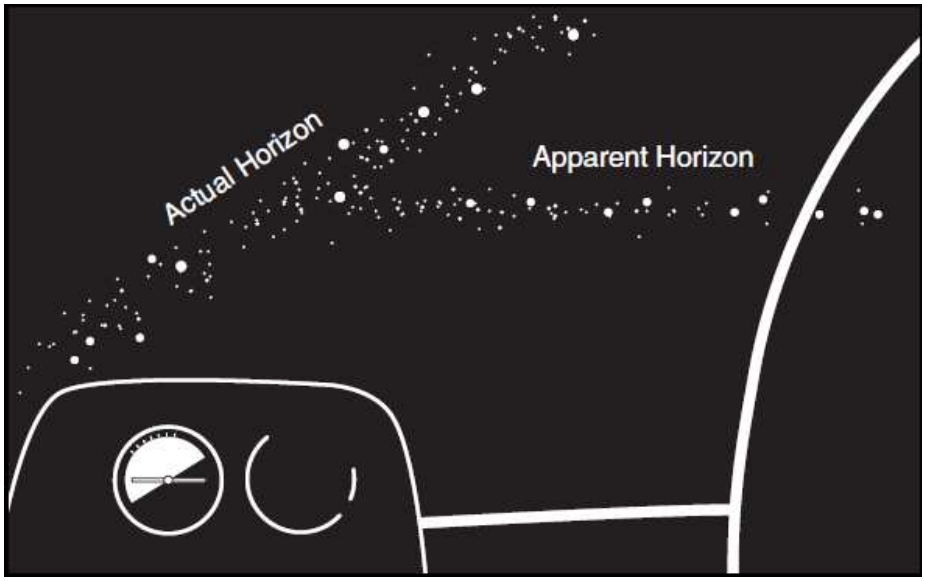


Figure 6. You can place your helicopter in an extremely dangerous flight attitude if you align the helicopter with the wrong lights. Here, the helicopter is aligned with a road and not the horizon.

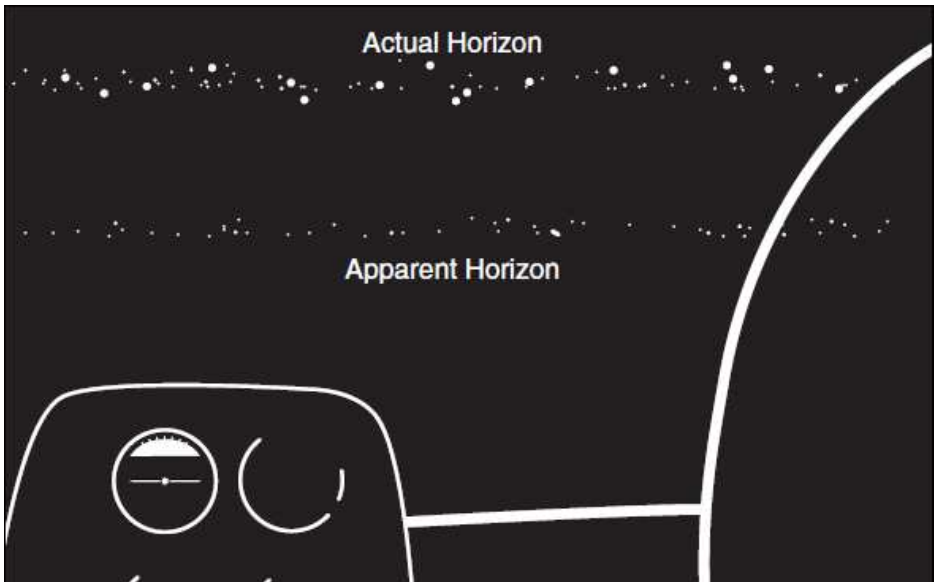


Figure 7. In this illusion, the shoreline is mistaken for the horizon. In an attempt to correct for the apparent nose-high attitude, a pilot may lower the collective and attempt to fly "beneath the shore."

NIGHT LANDING ILLUSIONS

Landing illusions occur in many forms. Above featureless terrain at night, there is a natural tendency to fly a lower-than-normal approach. Elements that cause any type of visual obscuration, such as rain, haze, or a dark runway environment also can cause low approaches. Bright lights, steep surrounding terrain, and a wide runway can produce the illusion of being too low, with a tendency to fly a higher-than-normal approach.

NIGHT FLIGHT

The night flying environment and the techniques you use when flying at night, depend on outside conditions. Flying on a bright, clear, moonlit evening when the visibility is good and the wind is calm, is not much different from flying during the day. However, if you are flying on an overcast night over a sparsely populated area, with little or no outside lights from the ground, the situation is quite different. Visibility is restricted so you have to be more alert in steering clear of obstructions and low clouds. Your options are also limited in the event of an emergency, as it is more difficult to find a place to land and determine wind direction and speed. At night, you have to rely more heavily on the aircraft systems, such as lights, flight instruments, and navigation equipment. As a precaution, if the visibility is limited or outside references are inadequate, you should strongly consider delaying the flight until conditions improve, unless you have received training in instrument flight and your helicopter has the appropriate instrumentation and equipment.

Preflight

The preflight inspection is performed in the usual manner, except it should be done in a well lit area or with a flashlight. Careful attention must be paid to the aircraft electrical system. In helicopters

equipped with fuses, a spare set is required by regulation, and common sense, so make sure they are onboard. If the helicopter is equipped with circuit breakers, check to see that they are not tripped. A tripped circuit breaker may be an indication of an equipment malfunction. Reset it and check the associated equipment for proper operation.

Check all the interior lights, especially the instrument and panel lights. The panel lighting can usually be controlled with a rheostat or dimmer switch, allowing you to adjust the intensity. If the lights are too bright, a glare may reflect off the windshield creating a distraction. Always carry a flashlight with fresh batteries to provide an alternate source of light if the interior lights malfunction.

All aircraft operating between sunset and sunrise are required to have operable navigation lights. Turn these lights on during the preflight to inspect them visually for proper operation. Between sunset and sunrise, theses lights must be on any time the engine is running.

All recently manufactured aircraft certified for night flight, must have an anticollision light that makes the aircraft more visible to other pilots. This light is either a red or white flashing light and may be in the form of a rotating beacon or a strobe. While anticollision lights are required for night VFR flights, they may be turned off any time they create a distraction for the pilot.

One of the first steps in preparation for night flight is becoming thoroughly familiar with the helicopter's cockpit, instrumentation and control layout. It is recommended that you practice locating each instrument, control, and switch, both with and without cabin lights.

Since the markings on some switches and circuit breaker panels may be hard to read at night, you should assure yourself that you are able to locate and use these devices, and read the markings in poor light conditions. Before you start the engine, make sure all necessary equipment and supplies needed for the flight, such as charts, notepads, and flashlights, are accessible and ready for use.

Engine starting and rotor engagement

Use extra caution when starting the engine and engaging the rotors, especially in dark areas with little or no outside lights. In addition to the usual call of "clear," turn on the position and anticollision lights. If conditions permit, you might also want to turn the landing light on momentarily to help warn others that you are about to start the engine and engage the rotors.

Taxi technique

Landing lights usually cast a beam that is narrow and concentrated ahead of the helicopter, so illumination to the side is minimal. Therefore, you should slow your taxi at night, especially in congested ramp and parking areas. Some helicopters have a hover light in addition to a landing light, which illuminates a larger area under the helicopter.

When operating at an unfamiliar airport at night, you should ask for instructions or advice concerning local conditions, so as to avoid taxiing into areas of construction, or unlighted, unmarked

obstructions. Ground controllers or UNICOM operators are usually cooperative in furnishing you with this type of information.

Takeoff

Before takeoff, make sure that you have a clear, unobstructed takeoff path. At airports, you may accomplish this by taking off over a runway or taxiway, however, if you are operating off-airport, you must pay more attention to the surroundings. Obstructions may also be difficult to see if you are taking off from an unlighted area. Once you have chosen a suitable takeoff path, select a point down the takeoff path to use for directional reference. During a night takeoff, you may notice a lack of reliable outside visual references after you are airborne.

This is particularly true at small airports and off-airport landing sites located in sparsely populated areas. To compensate for the lack of outside references, use the available flight instruments as an aid. Check the altimeter and the airspeed indicator to verify the proper climb attitude. An attitude indicator, if installed, can enhance your attitude reference.

The first 500 feet of altitude after takeoff is considered to be the most critical period in transitioning from the comparatively well-lighted airport or heliport into what sometimes appears to be total darkness. A takeoff at night is usually an “altitude over airspeed” maneuver, meaning you will most likely perform a nearly maximum performance takeoff. This improves the chances for obstacle clearance and enhances safety.

When performing this maneuver, be sure to avoid the cross-hatched or shaded areas of the height-velocity diagram.

En route procedures

In order to provide a higher margin of safety, it is recommended that you select a cruising altitude somewhat higher than normal. There are several reasons for this.

First, a higher altitude gives you more clearance between obstacles, especially those that are difficult to see at night, such as high tension wires and unlighted towers. Secondly, in the event of an engine failure, you have more time to set up for a landing and the gliding distance is greater giving you more options in making a safe landing. Thirdly, radio reception is improved, particularly if you are using radio aids for navigation.

During your preflight planning, it is recommended that you select a route of flight that keeps you within reach of an airport, or any safe landing site, as much of the time as possible. It is also recommended that you fly as close as possible to a populated or lighted area such as a highway or town. Not only does this offer more options in the event of an emergency, but also makes navigation a lot easier. A course comprised of a series of slight zig-zags to stay close to suitable landing sites and well lighted areas, only adds a little more time and distance to an otherwise straight course.

In the event that you have to make a forced landing at night, use the same procedure recommended for daytime emergency landings. If available, turn on the landing light during the final descent to help in avoiding obstacles along your approach path.

Collision avoidance at night

At night, the outside visual references are greatly reduced especially when flying over a sparsely populated area with little or no lights. The result is that you tend to focus on a single point or instrument, making you less aware of the other traffic around. You must make a special effort to devote enough time to scan for traffic. You can determine another aircraft's direction of flight by interpreting the position and anticollision lights.

Approach and landing

Night approaches and landings do have some advantages over daytime approaches, as the air is generally smoother and the disruptive effects of turbulence and excessive crosswinds are often absent. However, there are a few special considerations and techniques that apply to approaches at night. For example, when landing at night, especially at an unfamiliar airport, make the approach to a lighted runway and then use the taxiways to avoid unlighted obstructions or equipment.

Carefully controlled studies have revealed that pilots have a tendency to make lower approaches at night than during the day. This is potentially dangerous as you have a greater chance of hitting an obstacle, such as an overhead wire or fence, which are difficult to see. It is good practice to make steeper approaches at night, thus increasing any obstacle clearance. Monitor your altitude and rate of descent using the altimeter.

Another tendency is to focus too much on the landing area and not pay enough attention to airspeed. If too much airspeed is lost, a settling-with-power condition may result. Maintain the proper attitude during the approach, and make sure you keep some forward airspeed and movement until close to the ground. Outside visual reference for airspeed and rate of closure may not be available, especially when landing in an unlighted area, so pay special attention to the airspeed indicator

Although the landing light is a helpful aid when making night approaches, there is an inherent disadvantage. The portion of the landing area illuminated by the landing light seems higher than the dark area surrounding it. This effect can cause you to terminate the approach at too high an altitude, resulting in a settling-withpower condition and a hard landing.

SUMMARY

The article listed some typical cases, which come forward in the course of the night flight operation. The pilots have to study these, and they have to prepare themselves for the correct behaviour.

References

[1] Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration Flight Standards Service, (FAA-H-8083-25), 2003.

[2] Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration Flight Standards Service, (FAA-H-8083-25A), 2008. http://www.faa.gov/library/manuals/aviation/pilot_handbook/

[3] Rotorcraft Flying Handbook U.S. Department of Transportation Federalaviation Administration Flight Standards Service 2000.

[4] Airplane Flying Handbook. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration Flight Standards Service (FAA-H-8083-3A), 2004.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. Békési László

A HELIKOPTER AERODINAMIKÁJÁNAK OKTATÁSI LEHETŐSÉGEI MULTIMÉDIA SEGÍTSÉGÉVEL

1.A MULTIMÉDIA, MINT LEHETŐSÉG A TANÍTÁS-TANULÁS FOLYAMATÁBAN

Az 1990- es évek nagy jelentőségű technikai újdonsága volt a ***multimédia személyi számítógép*** (MPC = Multimédia PC), olyan eszköz, amely interaktív módon képes megjeleníteni bármilyen rögzített adat-hang-kép-mozgókép információt, és ennek többféle megjelenítési formáját képes egyidejűleg közvetíteni. A számítógépek adta lehetőségek napjainkra új perspektívákat nyújtanak az oktatásban (szemléltetés, a tanulás irányítása és segítése, távoktatás, interaktív tanulás stb.) [11]. Az „átfogó megértéshez", a tanulás megkönnyítéséhez a multimédia alkalmazása sok segítséget adhat.

Az egyik technikai-technológiai jellegű: meg kell tanulni, hogyan lehet *szelektíven és hatékonyan hozzájutni pontosan ahhoz az információhoz, amelyre szükségünk van.*

A másik válasz az információ mélyebb tartalmával kapcsolatos: meg kell tanulni megérteni az adott információt. Ennek a megértésnek egyik „próbaköve" az információk hozzáférhetősége.

A feladat tehát továbbra is ugyanaz, mint régen, **szükségeltetik egy tanár, aki megtanít az információk tartalmának felismerésére és azok értelmezésére.** A tanárnak természetesen figyelembe kell vennie két dolgot: egyrészt, hogy tanítványának lehetősége van az internet által kínált (multimediális) anyagok böngészésére, másrészt, hogy neki is rendelkezésére állnak ugyanezek a lehetőségek a tanításban. S ha a kettőt sikerül összehangolni, akkor a tanulás eredményessége jelentős mértékben javulhat.

1.1. A SZÁMÍTÓGÉP SZEREPE AZ OKTATÁSBAN

A számítógép az eddig használt tanítási eszközök mindegyikének szerepét többé-kevésbé helyettesíteni tudja és számos új tulajdonsággal is rendelkezik: hatalmas tudásanyag tárolására valamint színvonalas bemutatására, sőt a tanulóval való kommunikációra is képes. Hogy mekkora tudásanyag, milyen módon kerül bemutatásra, és mekkora kommunikációs lehetőségei vannak a tanulónak a számítógéppel, egyedül az oktatószoftver készítőjétől függ. A multimédiás oktatószoftver, mint legújabb taneszköz - az egyre több magyar nyelvű oktatóprogram ellenére - már népszerű a diákok és tanárok körében egyaránt. Szoftverfejlesztői szempontból további problémát jelent, hogy még nincs jól kidolgozott egységes módszer a multimédiás oktatószoftver tervezésére és fejlesztésére, sőt az ilyen alkalmazások minősítésének kritériumai sem kiforrottak még [4] [7].

A multimédiás szemléltető anyagok szerepének vizsgálata előtt szükséges a multimédia fogalmát a tisztázni.

1.2. MI A MULTIMÉDIA?

Sok egymástól eltérő meghatározással találkozunk:

- „Ahhoz, hogy multimédiáról beszélhessünk, sok médiumnak kell együttműködni" [8];
- „A multimédia napjaink egyik divatos megnevezése, alapvetően a régebbi információs technikának egy bővített fogalma" [26];
- „A multimédia (MM) fogalom alatt az ismeretek elsajátításának olyan új, az egyéni tanulás segítésére kitalált eddigi leghatékonyabb módját értjük, amely lehetővé teszi az elsajátítandó ismeretanyag egyes részleteinek tetszés szerinti számú ismétlését, újrajátszását, a többi érzékszerv egyidejű használata révén hatékonyabb bevésését, memorizálását megértését, mindezt a felhasználó egyedi igényével, egyedi megértési szempontjainak messzemenő figyelembevételével, az egyéni időrendbe ágyazva, kellemes, korszerű módon. Ma a multimédia – a többcsatornás információátvitel hordozója – elsősorban a hangkeltési és mozgókép-lejátszási lehetőséggel ellátott számítógépet jelenti Nem minden CD-ROM interaktív multimédia, mert a program és az ember közti kommunikáció alternatív visszacsatolásai adják az interaktivitást" [14].
- „A multimédia rendszert független információk számítógépvezérelt, integrált előállítása, célorientált feldolgozása, bemutatása, tárolása és továbbítása határozza meg, melyek legalább egy folyamatos (időfüggő) és egy diszkrét (időfüggetlen) médiumban jelennek meg". [22]

Ha a *multimédia* fogalmát szeretnénk megmagyarázni, érdemes először utánanézni a latin szavak eredeti jelentésének. *A **multi-*** előtag a szóösszetételekben azt jelenti: ***sok - a médium*** (melynek többes száma ***a média)*** pedig ***valami között, a közbülső helyen található*** jelentéssel bír. Ma leginkább ***közvetítő elem*** **vagy** ***információközvetítő közeg*** értelemben használatos [22] [25].

A felhasználó számára a multimédia az információt *mozgóképek, szöveg* és *hang* formájában, *interaktív kezelőfelületek* segítségével jeleníti meg. Tehát több különböző formában (szöveg, kép, hang, videó, animáció) tárolt vagy megjelenített információk együttese. A multimédia független információelemek számítógép-vezérelt, integrált előállítása, célorientált feldolgozása, bemutatása, tárolása és továbbítása.

A multimédia nem mennyiségi, hanem minőségi tartalmú fogalom [8]. Adott témáról a rá leginkább jellemző információs formában ad bemutatást, megjelenítési és felhasználási lehetősége is sokrétű. Jellemző alkalmazási területei: reklámszakma **oktatás,** publikációs tevékenységek (folyóiratok, enciklopédiák), adatbázisok kezelése, játékok, televízió és filmszakma, képfeldolgozás.

2. A MULTIMÉDIÁS SZEMLÉLTETŐ ANYAGOK SZEREPE AZ OKTATÁSBAN

2.1. A MULTIMÉDIA TÉRHÓDÍTÁSA

2.1.1. A multimédia a hétköznapi életben

A multimédia a hétköznapjainkban is jelen van. Az interaktív tájékoztatást szolgálják például a múzeumokban elhelyezett „tuch screen" képernyők, az egyes városokról, vagy intézményekről készített CD-k, a multimédiás lexikonok, a korszerűbb, hangot, képet, animációt és videót is tartalmazó web oldalak, de ide sorolható a műholdas helymeghatározó (GPS) rendszerek is.

A multimédia térhódítása nem meglepő, hiszen az egyetlen módszer és eszköz, mely egyesíti az audió és videó, az írott szöveg, a képek, valamint az animációk által nyújtott szemléltetési lehetőségeket, interaktív módon és egyéni haladási ütem biztosítása mellett.

2.1.2. A multimédia az oktatásban

A multimédia oktatási célokra való felhasználásának alapja az a nézet mely az oktatást a tanítás és a tanulás oldaláról vizsgálja. Ebben a viszonyban azonban a tanulás kap nagyobb hangsúlyt.

E szerint az oktatási módszernek:

- kis egységekre kell bontani a feldolgozandó tananyagot;
- minden egységben gondoskodni kell a hallgató aktív közreműködéséről;
- minden egységben lehetőséget kell biztosítani a hallgatónak tevékenysége ellenőrzésére.

A megfelelően megtervezett multimédiás oktatószoftverek alkalmazása esetén a számítógép alapú tananyagok az egyéni tanulás támogatására a leghatékonyabb eszközök lehetnek, mivel rugalmasan igazodnak a hallgató egyéni tanulási tempójához, végigvezetik a hallgatót az elsajátítandó tananyag láncolatán, a hallgató tudásszintjének megfelelő példákat és feladatokat mutatnak, és lépésről lépésre tesztelik a hallgatót, hogy megértette-e az anyagot. Emellett alkalmas olyan szituációk vagy rendszerek modellezésére, mellyel a hallgató közvetlen kapcsolatba nem, vagy csak kivételes esetekben kerülhet (például a repülőgép szárnyprofil körüláramlásának problémái) [15].

1.1.2.1. A hallgatók és a multimédia kapcsolata

A hallgatók körében azért indokolt és kedvelt a számítógép használata, mert összhangban van azzal a kultúrával, amelyben a mai iskolások felnőnek. Ezek a fiatalok egy gyors technikai fejlődéssel jellemezhető világban élnek, és teljes rutinnal keresik meg a számukra szükséges adatokat a hatalmas információrengetegben. Míg a könyvekből való tanulás sokuk számára unalmas elfoglaltságot jelent, addig lenyűgözi őket a számítógépes grafika, mozgás és hang [9]. Képesek hosszú időt eltölteni számítógép előtt, mert minden információ megfelelő tálalás esetén más és más érdekes formában jelenik meg előttük, így észre sem veszik, hogy tanulnak.

2.1.2.2. A multimédiás oktatás előnyei

A multimédiát felhasználó oktatásnak számos előnye van, íme közülük néhány:

- Támogatja az egyéni tanulást;
- Megszünteti a tantárgyak közti éles határokat;
- Növeli a kreativitást;
- Egyénileg és csoportosan is biztosítja az aktív tanulási folyamatot [20];
- A multimédia rendszerek integrálni képesek szinte valamennyi taneszközt, így az információk nem csak egy érzékszervünkön keresztül jutnak el hozzánk, ami lehetővé teszi az ismeretszerzés sokkal hatékonyabb módját;
- A multimédia oktatóprogramok használata a felhasználótól nem igényel számítástechnikai ismereteket, így széleskörű elterjedésüknek nincs akadálya;
- Kísérletek igazolják, hogy a multimédiát felhasználó oktatás, tanulás során az ismeretek elsajátítási aránya lényegesen javulhat, miközben a tanulásra fordított idő jelentősen csökkenhet.

A hagyományos tanulás során a tanár kénytelen tempóját az átlagos tanulóhoz igazítani, így a jobb hallgatók unatkoznak, a gyengébbek pedig, lemaradnak. A számítógépes oktatással elérhető az, hogy a hallgató az elsajátítandó anyagban saját képességeihez mérten haladjon.

2.1.2.3. A multimédiás oktatás hátrányai

- A multimédia fejlesztő szoftverei, valamint hardver eszközrendszerének az ára magas;
- Gyakori és didaktikailag nem átgondolt használata károsan hathat a hallgatók személyiségére;
- Nem megfelelő oktatói koordinálás esetén a tanítási-tanulási folyamat módszereinek egyoldalúságához vezethet, ami csökkenti a hallgató alkalmazkodási képességét más módszerekkel szemben;
- Egy ilyen oktatási program előállítása a hagyományos pedagógiai eszközöknél lényegesen több időt és költséget igényel;
- A „verbális” típusúak között némileg több a szövegre orientált, a képi információt nehezebben kezelő hallgató akik számára kiegészítő magyarázatok nélkül az oktatóprogramok nehezen használhatók;
- Az önálló fejlesztési lehetőségek nehezek, mivel a rendszer szoftver és hardver eszközeinek teljes kidolgozása több szakterület magasan kvalifikált szakembereinek összehangolt munkáját feltételezi;
- Alkalmazása - jól - felkészült oktató szakembert feltételez.

2.1.3. Elvárások a multimédiás oktatószoftverrel szemben

Laaser, Barnard és Sandberg [13] az első multimédiás szoftverek tesztelése során a következő tapasztalatokat vonták le:

- a hallgatók professzionális programokat várnak el, mert az általuk ismert, nem oktatási célú kereskedelemben kapható termékekhez viszonyítanak;
- előnyben részesítik azokat a programokat, melyek vizsgára készítenek elő, vagy amelyek egy megfelelő fejezet nehéz részeit magyarázzák meg;
- a programokat akkor fogadják el, ha azok képesek azonnali válaszokat adni a tanulás közben felvetődő kérdésekre és a hallgató hatékonyan maga irányíthatja tanulását.

Ennek elérése érdekében:

- a tananyag kialakítása folyamán jó kompromisszumokat kell találni a tudományos korrektség és a könnyebb tanulhatóság érdekében szükséges egyszerűsítések között;
- meg kell keresni az alkalmazott médiumok egymás hatását erősítő legelőnyösebb kombinációját és arányát;
- valamint biztosítani kell, hogy a hallgató bizonyos határok között maga állíthassa be az egyéni tanulási stílusának leginkább megfelelő interakciós és információ-közlő módokat.

A felhasználókat a szoftver alkalmazásakor az alábbi tényezők érdeklik elsősorban:

- A multimédia alkalmazás képernyőn való esztétikai megjelenése;
- Az átadandó információ megjelenésének módja;
- A képernyőoldalak közötti navigálási rendszer bonyolultsága;
- A szoftver egyéb részeinek kezelési bonyolultsága.

A prototípus tesztelésekor a navigálási bonyolultság felmérése a legfontosabb. A jól megtervezett navigáció nem engedi, hogy a felhasználó eltévedjen a hatalmas információtömegben, és lehetővé teszi, hogy az alkalmazás használója felfedje az egyes információk, fogalmak és multimédiaelemek egymáshoz rendeltségét és logikai kapcsolatát.

A tanítási és tanulási folyamatot elősegítő tevékenység a gyakorlás, így célszerű úgy felépíteni multimédiás alkalmazásunkat, hogy a hallgató bármelyik pillanatban beépített példákon keresztül gyakorolhassa azt, amit azelőtt megtanult. A megvalósítás során arra is oda kell figyelni, hogy a készülő számítógépes oktatóprogram képes legyen interaktívan működni, alkalmazkodjon a tanulók egyéni igényeihez és engedjen önállóságot.

A multimédia alkalmazás elkészítésekor használni kell az interakció motiváló formáit, mint például életszerű probléma-szituációk előtérbe helyezését, szimulációs feladatokat.

Egy számítógépes prezentáció szerkezetét tekintve a menürendszer már önmagában is hasznos, hiszen jól rendszerezheti a bemutatásra kerülő anyagot, ezáltal könnyebb tanuláshoz vezet. Jó hibakezelést biztosít.

2.1.4. A felhasznált médiumok aránya

A multimédiás taneszközök az oktatási folyamatban változatos funkciókat láthatnak el: motiválás, ismeretnyújtás, szemléltetés, rendszerezés, gyakorlás, ismétlés, rögzítés, ellenőrzés, a tanulás irányítása. A multimédiás taneszköz-használat a tanár oktató-nevelő munkáját segítheti, kiegészítheti,

fokozhatja, szimulálhatja, helyettesítheti, új dimenzióba helyezi. A multimédia felhasználásával megtekinthetők a bonyolult, nehezen elsajátítható, kevésbé hozzáférhető, nem látható, vagy éppen az emberre veszélyes tárgyak jelenségek [11]. Ebben a folyamatban fontos, hogy megfelelő legyen a felhasznált médiumok aránya.

2.1.4.1. A felhasznált szöveg jellemzői

Legyen a megjelenített szöveg tömör, tartalma lényegre törő. A képernyőn a nyomtatott laphoz képest rosszabb az olvashatóság, több a szemmozgás, így fokozott a szemmozgató-izmok elfáradása is, így a javasolt szöveg méret, a képernyő teljes felületének egyharmada.

A megjelenített szöveget használjuk fel több célra. A szövegben helyezzük el azokat a szavakat, amelyekhez további információt fűzünk, vagy használjuk azokat az egyes oldalak közötti navigációs pontként.[27]

A szöveges oldalak megtervezésénél a tipográfia alapszabályait kell követni. Ne használjunk írott betűtípusból csupa nagybetűs szedést. A jó olvashatóság érdekében használjunk „karakteres" betűtípusokat, hiszen a szöveg azonosítása a betűk tetejének illetve aljának azonosításával egyenlő.

2.1.4.2. A felhasznált kép jellemzői

Levie és Lentz [13], a hagyományos papíralapú oktatási anyagokban lévő képi illusztrációk szerepével és hatásával foglalkozó vizsgálatai alapján, a következő irányelveket fogalmazták meg:

- Azok a képek, amelyek nem kapcsolódnak a szöveghez, nem javítják a szöveges anyag tanulását;
- Azok a képek, amelyek közvetlen kapcsolódnak a szöveghez, javítják a szöveges anyag tanulását;
- A képek jelenléte szövegben nem javítja azon szövegrészek tanulását, amelyhez nem kapcsolódik illusztráció;
- A képek segíthetik az olvasott szöveg megértését és az arra történő emlékezést.
- A képek egyes esetekben helyettesíthetik a szöveget, sőt többlet, nem verbális információkat nyújthatnak;
- A képek jobban segítik a gyengébb verbális képességű hallgatókat, mint az erősebb verbális képességűeket.

A hallgatók (mivel 82%-uk vizuális típus) előnyben részesítik az illusztrált szövegeket a nem illusztráltakkal szemben. A jó képi analógiák nagyon hasznosak komplex tények megértésében azon az alapon, hogy egy jól ismert dolgot új összefüggésbe hoznak egy teljesen más területtel. Vizualizálásra ott van szükség, ahol a hallgatónak a közvetlen tapasztalata hiányzik. Másrészt a képi megjelenítés a láthatatlan dolgok (pl.: elméletek, modellek) láthatóvá tételére szolgál.

2.1.4.3. A felhasznált mozgókép jellemzői

A videó-bejátszások az összes szemléltető előnyükkel együtt akkor hatékonyak igazán, ha a megfelelő információt megfelelő tempóban, felbontással és hanggal nyújtják. Videó anyagokban be lehet mutatni olyan speciális feladatokat vagy eseményeket, amelyeket szavakkal csak körülményesen lehetne

elmagyarázni. Grafikával pedig, nem lehetne elég élethűen megrajzolni. Mozgóképek segítségével nagymértékben felkelthető a felhasználó vagy a multimédia bemutatót megtekintő hallgatók figyelme.

Ehhez azonban a következőkre fokozottan oda kell figyelni. Állandó harcot vívunk a sebességért és a memóriáért. Ahhoz, hogy a számítógépen egy filmfelvétel megjeleníthető legyen, digitalizálni kell az anyagot. A képet valamely tömörítő eljárással tömöríteni kell. A méret tömörítéssel és a képablak kicsinyítésével drasztikusan csökkenthető. Bizonyos esetekben, ahol kevés gyors mozgás történik, egyszázados tömörítés is megfelelő lehet, de 1/20-as kompresszió általánosan elfogadott kiváló minőséget produkál. Tömörítő eljárás lehet az MPEG különböző szabványai, az AVI, valamint az MJPEG. Videó-anyagoknál célszerű a 25 FPS (frame/sec) sebességet használni, de esetenként elegendő 15 FPS is. Több médium párhuzamos futtatása valamint két videó egyidejű lejátszása kerülendő.

Animációk segítségével lényegesen több információt közölhetünk, mint egyszerű grafikus oldalakkal, viszont a számítógép teljesítményét mégsem kell megnövelni oly mértékben, mintha videó elemeket szeretnénk megjeleníteni. Alesandrini, K és Rigney, J. W. [13] arra kérte egyetemi hallgató kísérleti személyeit, hogy menjenek végig egy oktatási anyagon úgy, hogy a csoport egyik része kétszer olvassa el az anyagot, a többiek pedig a második elolvasás helyett a témát szimuláló animációt tanulmányozhatták. Eredményeik szerint a szimulációs csoport jobban teljesített a képi jellegű utótesztben és kedvezőbb hozzáállást alakított ki a témával kapcsolatban, mint akik kétszer olvasták el az anyagot. Verbális jellegű utóteszt eredményeiben azonban nem volt különbség a két csoport között. A videó hossza maximum 60-90 másodperc legyen. Ahol a képminőség nem teszi lehetővé a teljes képernyőnyi képet, a kis mozgókép nézése 1-1,5 perc múlva fárasztóvá válik.

2.1.5. Vizuálergonómiai szempontok

Egy kiadvány, legyen az könyv, plakát vagy egy multimédiás oktatószoftver, a tartalmi informatív részén kívül a színei, elrendezése, anyag minősége, kreativitása, egyszóval a felhasználó centrikus vizuálergonómiája miatt válhat kedveltté. A mai nyomdatechnikák alkalmazásával a színes kiadványok előállítása már nem növeli nagyságrendekkel a költségeket a fekete-fehér kiadványokhoz képest, ugyanakkor a végeredmény össze sem hasonlítható. Nem beszélve arról, hogy a színeknek önmagukban is van jelentésük és érzelmi állapotok is társíthatók hozzájuk, vagyis többlet információt hordoznak, melyek pótlásáról verbális formában kellene gondoskodni. A színek szerepe tehát jelentős, viszont használatuk során jó néhány dologra oda kell figyelni.

A színek együttes használata során jó, ha tudjuk, hogy a sárga és a fekete színek együttesével érhető el a legnagyobb kiemelés, míg egy vörös háttérre kékkel írt szöveg olvasása rendkívül zavaró, mivel a szem egyszerre nem képes e két színre fókuszálni. A piros - sárga - zöld hármas a legjobban észlelhető színkombinációk természetes megvilágítás mellett (lásd közlekedési lámpák). Kiemelésre, figyelemfelkeltésre leginkább a telített színek alkalmasak, míg egy magyarázó jellegű prezentáció jobb, ha kevéssé telített, egymással harmonizáló pasztellszínek használata javasolt.

Emberek sokaságát megvizsgálva adódott a felfedezés, mely szerint az emberi látórendszer sokkal kevésbé érzékeny egy adott kép színinformációinak megváltozására, mint a fényerősségviszonyok megváltozására [17]. Tehát, ha a szövegben az előtér és a háttér között nincs fénysűrűség kontraszt csak színkontraszt, akkor igen nehezen olvasható a szöveg.

Színeket a multimédiás prezentációkban azonosításra is használhatunk. A. Clarke 1991-es kísérlete az alkalmazható színek száma kapcsán azt az eredményt hozta, hogy hét vagy kevesebb szín esetén a hallgatók pozitívan viszonyulnak a színekhez [13]. Hét szín felett már túl komplexek voltak a képernyők és a hallgatók nem tudtak azon eligazodni.

A szoftver képernyőinek tervezésénél ügyelni kell arra, hogy ne használjunk komplementer színeket közvetlenül egymás mellet. Ha ugyanis a komplementer színű mezőket (pl. sárga háttéren megjelenített kék ábrát, vagy vörös háttéren megjelenített zöld ábrát) szemlélünk, tekintetünk fókuszának kis mértékű természetes ingadozásai következtében megjelennek a komplementer utóképek és elmosódottá, életlenné teszik a látványt. [15]

2.1.6. A multimédiás oktatószoftverek minőségi értékelése

A multimédiás oktatószoftverek minőségi értékelésénél a következő 9 fő pontot feltétlenül figyelembe kell venni, melyek külön-külön további fontos támpontokból állnak. A kulcsszó a motiváció: Hogyan kelti fel és tartja fenn a multimédia tananyag a hallgató érdeklődését a téma iránt? Hogyan ösztönöz értelmes interaktivitásra? Mivel készteti a felhasználót tanulásra?

2.1.6.1. Az érdeklődés felkeltése

Az érdeklődés felkeltése szempontjából a legfontosabb az oktatni kívánt információ vonzó megjelenítése. Ebben segítség lehet a felhasználói célcsoport által ismert vagy elismert személy, aktív szerepeltetése az oktatásban. Fontos hogy a felhasználó ne érezze tehernek a tanulást. Ez elősegíthető érdekes példák alkalmazásával. Fontos, hogy a felhasználó számára az oktatószoftver újdonságot, érdekességet, esetleg egy tématerület meghökkentő megoldását tartalmazza, valamint, hogy a szoftver a felhasználó szemszögéből közelítse meg a témát, hiszen a tanulás csak akkor lehet hatékony, ha a tanulási folyamat során a hallgató figyelmét folyamatosan a tárgyra tudjuk irányítani. A megjelenítés konkrét célja nem más, mint egy jól irányzott reklámnak, vagyis eladni a terméket - jelen esetben az oktatószoftveren található tudást - úgy, hogy a vevő - jelen esetben a hallgató - elégedett legyen a vétellel, azaz az oktatószoftver effektív segítséget nyújtson egy adott téma részletes elsajátításában.

2.1.6.2. Interaktivitás

Egy multimédia szoftver alapvetően azzal tud többet a videó anyagoknál, hogy a tanulás során a felhasználónak lehetősége van a kommunikációra, a dolgok menetébe történő beavatkozásra, feladatmegoldásra, kérdésfeltevésre. A felhasználó komfortérzetét befolyásoló tényezők:

- megtalálhatóság;
- egyértelműség;

- egyszerűség;
- beavatkozhatóság;
- válaszolhatóság;
- a kezelés elsajátításának nehézsége;
- A hallgató ne a manipulációval legyen elfoglalva, hanem a tartalommal.

2.1.6.3. Médiumok helyes aránya

Fontos megjegyezni, hogy a multimédiás oktatószoftver nem helyettesíti, hanem kiegészíti a hagyományos oktatásban használt tankönyveket, így a szöveges információk mennyisége a grafikus képekhez és animációkhoz képest kisebb. Itt kell megjegyezni, hogy a képernyőn a nyomtatott laphoz képest rosszabb az olvashatóság, így több a szemmozgás, és fokozott a szemmozgató-izmok elfáradása is. A szöveges állományok túlzott használata ez okból is kerülendő.

Nem szabad azonban túlzásba vinni a képek megjelenítést sem, mert ez képi telítettség információt („túlcsorgás") okozhat és elragadja a lényegről a hallgató figyelmét. Ha ezt nem vesszük figyelembe, az oktatóprogramoknak csupán motiváló és esztétikai hatása van, ami céljait tekintve nem elegendő.

Továbbá figyelni kell arra, hogy egy percnyi videó anyag, tömörítés nélkül nagy méretű, ami megfelelő tömörítéssel akár század részére is csökkenthető. Mindenesetre tudni kell, hogy sok mozgóképet tartalmazó oktatóprogram élvezhető nézéséhez nagyteljesítményű számítógép szükséges, viszont a gyengébb videó-felvételek megfelelő hanghatással jelentősen feljavíthatók.

2.1.6.4. A szoftver testreszabottsága

A szoftver testre szabottsága az egyéni képességekhez való alkalmazkodáson alapul, amelynek kritériumai az életkor, a tartalom és a hardver.

2.1.6.5. A felhasználói felület minősége

Befolyásolja a felhasznált színek száma és fajtája, a grafikai objektumok felbontása, élessége valamint az olvashatóság. Itt a sajtótördelésnél is használt rövid sorok, dupla sortáv a legmegfelelőbb. Mindezek felett igen lényeges az egyes oldalak elrendezése: mennyire harmonikus vagy épp disszonáns, de mindenképpen következetes.

2.1.6.6. Tanulási stílusnak való megfelelés

Komoly feladat megtalálni az arany középutat a vizuális és verbális képességnek való megfelelés, valamint a lineáris vonalú tanulási stílust kedvelők számára az ismétlés, és a csapongó stílust kedvelők számára a kalandozhatóság közt.

2.1.6.7. Ellenőrzési és értékelési technikák

A felhasználó feladatmegoldásának értékelésén alapulnak. Előnyös, ha a szoftver többszöri próbálgatást engedélyez a jó megoldás elárulása előtt, és minden egyes rossz megoldáshoz más-más

értékelő-szöveget mellékel. Fontos, hogy értékelje a hallgató munkáját, és ez az értékelés legyen reális.

2.1.6.8. Beépített intelligencia

Fontos hogy a szoftver megfelelő mennyiségű, helyes és valóságos információt tartalmazzon, a felhasználó számára pozitív módon bemutatva (pl.: a repülőgép szárny-mechanizációs eszközeinek minden fontos funkcionális elemét).

2.1.6.9. Egyéni, társas használatra való alkalmasság

Egy jól működő multimédiás oktatószoftver egyik alapfeladata - mind a gyengébb, mind a jobb képességű hallgatók számára - a tanári segédlet helyettesítése, vagy minimálissá tétele, ezért a fő szempont, hogy a szoftver kellően informatív és könnyen kezelhető legyen bárki számára úgy, hogy ne tartalmazzon az adott témában már jártas felhasználó számára sok redundáns információt, viszont a kezdők kellő segítséget kapjanak.

2.1.7.A szemléltetés módszertana

Ha az ismeretek közvetítése a számítógépes programban írásos vagy auditív médiumokon keresztül történik, akkor annak világosnak, egyszerűnek, tömörnek, jól érthetőnek, magyarosnak kell lennie.

A hatékony magyarázat további jellemzői:

A magyarázat alkalmazkodjon a tananyag leendő elsajátítójának fejlettségi szintjéhez. A magyarázat célját tudassuk a hallgatóval. Az általánosításokat, elveket, szabályokat világosan fogalmazzuk meg a kitűzött célnak megfelelően. A magyarázat során használjunk olyan példákat, melyek már nem szorulnak magyarázatra. Az ellenpéldák bemutatása segíti elhatárolni a tanult fogalmakat, szabályokat más fogalmaktól, és erősen motiválnak is.

A magyarázathoz kapcsolt szemléltető animáció ne öncélú legyen, hanem épüljön be a magyarázatba. A magyarázat mellett rögtön látható legyen a bemutató, és érezhető legyen annak kapcsolata a magyarázattal. A pedagógiai pszichológia kiderítette, hogy a legeredményesebb eljárás, ha a bemutatás és a magyarázat egy időben történik. A magyarázatot megelőző, illetve azt követő bemutatás alacsonyabb hatásfokú [13].

2.1.8. Pedagógiai- pszichológiai szempontok a multimédia tananyag készítéséhez

- Tartalmazzon több médiumot (szöveg, hang, álló-, mozgókép animáció);
- A kép nagysága és minősége megfelelő legyen;
- A szöveg mennyisége a képernyőtervezésnél arányos legyen;
- A betűnagyság - szabványok szerint - könnyen olvasható legyen;
- A hangminőség élvezhető legyen;
- A mozgókép digitalizálás minősége jó legyen;
- Az információ szerkesztése a képernyőn áttekinthető legyen;

- A háttér legyen jellegzetes;
- A képernyőn az információ színei és a háttér legyenek összhangban (a háttér kiemeli az információt);
- Az alkalmazás sikeréhez járuljon hozzá a kezelő pedagógus;
- A multimédiás szemléltetés célokat kitűző legyen;
- Feleljen meg a hallgatók céljainak és igényeinek;
- Didaktikai célok részletes meghatározása;
- Fontos a nevelési célok meghatározása a programon keresztül;
- Az induló (a felhasználó) szint határozott legyen;
- Biztosítson jártasságot és készségeket a tananyagban;
- Különböző igényeket elégítsen ki, mert lehetséges, hogy különböző felkészültségű hallgatók használják;
- Legyen motiváló hatása;
- Biztosítsa a tanulás- és önálló tanulás lehetőségét a hallgatók számára;
- Biztosítsa a lehetséges interaktivitást;
- A tanagyag legyen korszerű;
- Tartalmazzon szemléltetést, keltse fel és tartsa fenn az érdeklődést.

3. A MULTIMÉDIA ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI AZ AERODINAMIKA OKTATÁSA SORÁN

3.1. MULTIMÉDIA A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK TANÍTÁSÁBAN

A továbbiakban a multimédia lehetséges oktatási alkalmazásainak egyik fontos terepével, a műszaki tudományok tanításában történő felhasználásával foglalkozom. Célom annak bizonyítása és bemutatása, hogy a multimédia a maga eszközrendszerével hatékonyan segítheti a megismerést, mivel ezzel az új eszközzel a jelenségek olyan szintjét lehet az érzékelés, a megfigyelés számára megragadhatóvá tenni, amelyek jellegzetességei sokszor rejtve maradnak a hallgatók előtt.

A számítógépek adta lehetőségek napjainkra új perspektívákat nyújtanak az oktatásban. Ezek egyik kiemelkedő eleme az „átfogó megértés” megkönnyítése, amelyhez a multimédia alkalmazása sok segítséget adhat.

3.1.1. Az aerodinamika és a repülésmechanika tantárgyak szerkezete, jellegzetességei

Az aerodinamika, és a repülésmechanika tantárgyak legkönnyebben megnevezhető jellegzetessége, hogy a vizsgálódás kiindulópontja, tárgya maga a repülőszerkezet. Ez tágabb értelemben a merevszárnyú- és forgószárnyas repülőeszközöket, azok tulajdonságait és viselkedését jelenti. A

munkámban ezek közül csak a merevszárnyú repülőgép aerodinamikáját valamint repülésmechanikáját, illetve a hozzájuk közvetlenül kapcsolódó tantárgyakat (áramlástan, repülőgép szerkezettan) veszem figyelembe, mert az ezekben szereplő oktatási anyagok multimédiás szemléltetését igyekszem megoldani.

A természet- és műszaki tudományok másik fontos jellegzetessége vizsgálódásuk módszereiben rejlik. E módszerek egyike a jelenségek, objektumok megfigyelése. A megfigyelést követő mozzanat az osztályozás (csoportokba sorolás) [18].

Az osztályozásra például a merevszárnyú aerodinamikában jó példa a repülőgép besorolása a repülő szerkezetek halmazába. A repülésmechanikában a mozgásokat a haladó-, kör- vagy ezek összetett mozgásainak kategóriájába sorolhatjuk. Az osztályozás sokszor önmagában is felveti a sémaalkotás szükségességét, hiszen a besorolás gyakran valamilyen rendező elv keretei között történik. Ez azonban meg is fordítható: adott kategóriába sorolt objektumokra vagy jelenségekre keresünk valamilyen közös és lényeges vonásokra korlátozódó leegyszerűsített ábrázolást, modellt. Ezek a sémák igen sokfélék lehetnek. Legegyszerűbbek a logikai rendezési formák, amelyek bizonyos előzményeknek bizonyos következményekhez fűződő szabályszerű viszonyát mondják ki, és gyakran valamely ok-okozati összefüggést fogalmaznak meg.

A szabályoknál bonyolultabb modellek kvantitatív összefüggéseket fejeznek ki. Ezek formája általában valamilyen matematikai struktúra (képlet, algebrai egyenlet, differenciálegyenlet vagy függvény). A legelegánsabb modellek az ún. axiómarendszerek, amelyek a jelenségek és objektumok széles körére érvényes, általános modellt fogalmaznak meg néhány egyszerű szabály, illetve összefüggés segítségével.

Érdemes végiggondolni, mi indokolja a természettudományokban a megfigyelésen túlmenően az egzakt csoportosítás és a kvantitatív modellalkotás szükségességét. Segítségükkel mindenekelőtt minimálisra csökkenthető a megjegyzendő lexikális ismeretek mennyisége, hiszen elegendő megjegyezni az alapvető összefüggéseket, a részletek abból már kikövetkeztethetők. Nagyon bonyolult vagy elvégezhetetlen kísérletek helyett a modell ismeretében számítógépes szimulációkat is végezhetünk, melyek során bonyolult folyamatok egyes lépéseire alkalmazzuk az elméleti modellt, majd az így kapott helyzetből indítjuk a következő lépést, mindaddig, amíg a kívánt helyzetig (állapotig) el nem jutunk. (Így szimulálható, pl. a repülőgép repülése)

3.1.2. Az aerodinamika és repülésmechanika tanítása

A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bolyai János Katonai Műszaki Kar Közlekedésmérnöki Szak Légi-közlekedési, a Had és Biztonságtechnikai mérnöki alapszak, Repülőműszaki szakirányain az aerodinamika és repülésmechanika című tantárgyak a szakmai illetve a differenciált szakmai törzsanyaghoz tartoznak. Az oktatási módszereknek nagymértékben illeszkedniük kell a természet, és műszaki tudományok előzőekben leírt sajátosságaihoz. A tanulás szempontjából alapvető fontosságú a repülőszerkezet repülésekor a lejátszódó jelenségek pontos ismerete és besorolása a megfelelő

kategóriába; az azt leíró séma világos megfogalmazása, végül annak készségszintű alkalmazása feladatok megoldására [6].

A jelenségek szemléltetésére a kísérletek, a valóságos repülőgép megfigyelése a legalkalmasabbak. Erre az „igazi valóságra” az aerodinamika oktatásában mindig szükség van, különben a gyakorlati életben használhatatlan tudáshoz lehet csak hozzájutni [16].

Különösen fontos mozzanat a felállított modell elemeinek megragadása a jelenségben. Ez az alapja a csoportokba vagy kategóriákba sorolásnak és annak a nagymértékű egyszerűsítési lehetőségnek is, amely a jelenség egyedi és konkrét tulajdonságaitól való elvonatkoztatás következtében sok más jelenségre adhat azonos, vagy hasonló magyarázatot. Ennek a modellalkotásnak több különböző szintje lehet, amelyek közül a legjobban használható az egyszerű, elvont (azaz matematikailag megfogalmazott) kvantitatív modell. (Ilyen modell azonban nem mindig létezik.)

A repülőgép aerodinamika valamint repülésmechanika ismeretek tanításának végső célja a szakirányú probléma-megoldási készség kifejlesztése. Ahhoz, hogy egy gyakorlatias problémát, például a repülőgép magassági kormánylapján lévő trimm-lapátok beállítását megoldjon a hallgató, a következő tevékenységsort kell végrehajtania:

- a feladat megfogalmazásából rá kell ismerni az adott jelenségre, azt be kell sorolnia a megfelelő kategóriába;
- ki kell választani hozzá a megfelelő szabályozási modellt, azonosítani az abban szereplő szabályozási lehetőségeket;
- tudni kell, hogy az előirt technológiai utasítással összhangban, mit és hogyan akar szabályozni;
- végül pedig, ezt az utat visszafelé bejárva az eredmény alapján az eredeti kérdésre kell válaszolnia: egy kúpon futnak-e a forgószárny lapátok?

Ez a folyamat meglehetősen összetett. Elvégezni csak akkor tudja a hallgató, ha minden mozzanatát jól ismeri, és jártassága van a megoldási folyamat egészének összeállításában is.

3.1.3. Az aerodinamika és repülésmechanika tantárgyakhoz kapcsolódó multimédia(tan)anyagok

A multimédiás oktatási anyagoknak véleményem szerint két dologhoz, kell mindenképpen kapcsolódniuk: az egyik a tantárgy szempontjából nélkülözhetetlen megfigyelés vagy kísérlet, a másik pedig az oktatásban használt tankönyv. Egyiket sem szabad szigorúan értelmezni. A megfigyelést az igazi valóságban kell (ha lehet) elvégezni, a multimédia-anyag ezt semmiképpen nem pótolhatja, csak felidézheti, kiegészítheti. Ugyanakkor például a repülőgép repülésének közvetlen közelről történő megfigyelése költséges, balesetveszélyes és a folyamat gyorsasága miatt nem is megvalósítható. A tankönyv lehetőség szerint legyen az, amelyet a hallgatók használnak. A feldolgozott téma szempontjából érdekes összes részletet tartalmazhatja a multimédia-anyag hordozója is.

Az aerodinamika és repülésmechanika tantárgyakban jól használható multimédia-anyagtól a következőket várhatjuk el el:

Mutassa be a megfigyelt objektumot vagy jelenséget. Ez a bemutatás nem a megfigyelés helyettesítésére, hanem annak kiegészítésére szolgáljon. Ez a valóságutánzat egyrészt feleleventheti az igazi megfigyeléseket, de az ismétlésen túl azokat kiegészítheti a valóságban nehezen megfigyelhető jelenségek bemutatásával. Erre a célra elsősorban videofelvétel vagy fényképsorozat alkalmas, de egyszerűbb animáció is felhasználható.

1. A jelenségek megfelelő feleleventésével, párhuzamosságok, hasonlóságok, kiemelésével mutassa meg az osztályozás (csoportosítás), illetve a modellalkotás fontos mozzanatait. Erre a célra alkalmasak az animációk, a háromdimenziós ábrák vagy a virtuális valóság.
2. A fentiekre támaszkodva mutassa meg magát az elvont (logikai vagy matematikai) modellt a hagyományos formában (szabály, képlet, egyenlet, függvény stb.). Fontos ezen a ponton a modellben szereplő szimbólumok pontos jelentésének tisztázása, a dimenziók, mértékegységek megadása is.
3. Vizsgálja meg a repülőgép adott szerkezetének működését, lehetőleg interaktív módon, lehetővé téve a hallgatók beavatkozását. Az egzakt, kvantitatív tudományokban (mint pl. a helikopter aerodinamika) ez a multimédia-anyagok kínálta egyik legfontosabb, a tanulás és a készségfejlesztés egyik leghatékonyabb lehetősége. A matematikai struktúrák papírra (vagy képernyőre) leírva nem működnek, legtöbb hallgató számára nem eléggé szemléletesek. Ha viszont ezeket színes függvénygörbékkel, animációs rajzokkal, háromdimenziós képekkel vagy virtuális valóság alkalmazásával szemléltetjük, akkor a struktúrák életre kelnek, nagymértékben növelik a hallgató érdeklődését is, és jelentősen megkönnyítik a megértést.
4. Elemezze a pedagógiai szempontból indokolt eltéréseket, kivételeket, komplikációkat a modell alkalmazhatóságával kapcsolatban. Mutasson rá arra, milyen egyszerűsítéseket, közelítéseket alkalmaztunk a modell megalkotásakor, és ezek mennyiben korlátozzák annak alkalmazhatóságát.
5. Ellenőrizze, hogy a hallgató mennyire sajátította el a bemutatott tananyagot. Ezt, pl. a szokásos „összefoglaló kérdések” technikájával is meg lehet oldani. A válasz nem tudása esetén a kérdés mellett lehessen megtalálni a kapcsolódó tankönyv és/vagy a multimédia-tananyag megfelelő részeire történő hivatkozást, ahonnan megtudható a válasz.
6. Az egész tananyag lehetőség szerint kapcsolódjon valamilyen tankönyvhöz vagy tankönyv jellegű hipermédia- (hipertext-) anyaghoz, amelynek vonatkozó része minden szükséges és lehetséges helyen egyszerűen a képernyőre kérhető.

Fontos követelménynek tartom, hogy a multimédia-tananyag használata – akár tanórai bemutatásra, akár egyéni tanulásra készült – olyan egyszerű legyen, hogy ne kelljen hozzá külön (nyomtatott) használati utasítás, és annak használata a minimálisan szükséges multimédia-használati ismeretek birtokában rövid idő alatt megtanulható legyen.

A fenti hat pont általános elvárás, amelyek mindegyikét fontosnak tartom. Ennek ellenére nem szükséges mindegyiket beépíteni minden oktatási anyagba. Ajánlatos azonban minden típusú anyagban az összes kritérium figyelembevétele, azoknak az adott célkitűzésekhez alkalmazkodó súlyozásával.

3.1.4. A szoftver kiválasztása

A szoftver kiválasztásánál jelentős mértékben befolyásolt az a körülmény, hogy lehetőleg olyan legyen, amely széleskörűen elterjedt és szinte valamennyi számítógépen megtalálható. Magyarországon az IBM PC- k aránya mintegy 90%. Az OFFICE csomag szinte minden számítógépre telepítve van, amelynek része az általam választott szoftver egyike a sokoldalú PowerPoint. Ezen kívül az önállóan futtatható multimédiás alkalmazás elkészítéséhez a NeoBook 5.5.4 multimédia szerkesztő szoftvert használtam.

4. A MULTIMÉDIA ALKALMAZÁSA A HELIKOPTER AERODINAMIKA ÉS REPÜLÉSMECHANIKA TANTÁRGYAK OKTATÁSA SORÁN

A ZMNE BJKMK Repülő Sárkány - Hajtómű Tanszéken az aerodinamika és a repülésmechanika című tantárgyak a szakalapozó tantárgyak közé tartoznak. A hallgatók e tantárgyak oktatása során sajátítják el azokat az alapvető aerodinamikai és repülésmechanikai ismereteket, amelyek szükségesek a szaktantárgyak elsajátításához. E két tantárgy tematikája úgy van felépítve, hogy csak egy szigorúan meghatározott logikai sorrendben lehet haladni az oktatás során.

A szemléltetésre korábban táblai rajzok, írásvetítő transzparensek szolgáltak, amelyek korlátait igyekszem feloldani a alább bemutatott a multimédiás alkalmazással.

A bemutatás sorrendje követi a tantárgyak tematikáiban meghatározott sorrendet. Az egyszerűtől haladok a bonyolult felé. Az általam elkészített multimédiás anyag a jobb megértést hivatott elősegíteni, miközben az egyszerű ábráknál jelen van előadás közben a táblai élőmunka is. Az anyag biztosítja a bármikori ismételhetőséget a hallgatók számára.

4.1. A NeoBook multimédiafejlesztő szoftver rövid bemutatása:

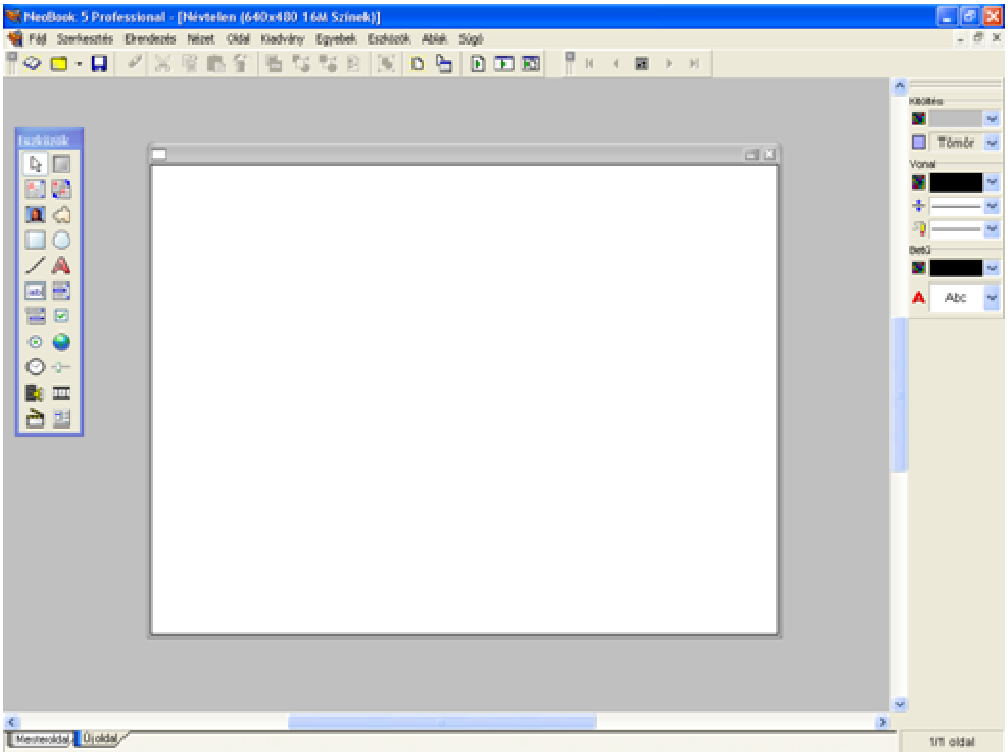
Amikor a NeoBook-ot első alkalommal nyitjuk meg, szerkesztési üzemmódban egy üres kiadvány jelenik meg, készen arra, hogy elkezdjük a munkát. A NeoBook ablak részei a következők (1. ábra):

4.1.1. Címsor

A NeoBook ablakának felső széle. Ezzel tudjuk az ablakot egy másik helyre mozgatni. Tartalmaz egy „ikon állapot” egy „teljes méret” és egy „ablak bezár” gombot. További információt a címsorral kapcsolatban a Windows dokumentációjában találhatunk.

4.1.2. Főmenü sor

A címsor alatt található a főmenü sor. Bármelyik menüre kattintunk, több almenű pont válik láthatóvá, amelyek közül választhatunk. A főmenü részletes leírásáról a program súgójának a „Menüparancsok” fejezetében olvashatunk.



1.ábra

4.1.3.Ikonsor

A menübár alatt található egy ikonsor, ahol az általánosan használt szerkesztőparancsok ikonjai találhatóak. Ha a kurzort a nyomógomb fölött tartjuk, akkor a hozzá tartozó parancs rövid leírása is megjelenik.

4.1.4. Oldalnavigáló gombok

Az ikonsor jobb oldalán találhatóak a lapozó gombok. A bal szélén található gombbal a legelső oldalra, a mellette lévővel pedig az előző oldalra ugorhatunk. A középső gombbal a *Mesteroldal*ra, a negyedik gombbal a következőre, míg a jobb szélső gombbal a legutolsó oldalra ugorhatunk.

4.1.5. Munkaasztal

A képernyő legnagyobb részét a munkaasztal foglalja el. A megnyitott kiadványok ezen a helyen találhatóak. Ha egynél több kiadvány van nyitva, akkor egyik dokumentumról a másikra egyszerűen az adott ablakra való kattintással, vagy pedig az *Ablak* menüben felsorolt fájlok egyikére kattintva térhetünk át.

4.1.6. Oldalfülek

A megnyitott kiadvány alsó részénél találhatóak az egyes oldalakhoz tartozó fülek. Ezeken tüntethetjük fel az oldalra utaló rövid címeket. A fülre kattintva az adott oldalra ugorhatunk. Az oldalak sorrendjét egyszerűen megváltoztathatjuk úgy, hogy megfogjuk a fület az egérrel, és a kívánt helyre visszük.

4.1.7. Eszközpaletta

Az eszközpalettán helyezkednek el azok az eszközök, amelyekkel a kiadvány megjelenési formáját készíthetjük el. A palettát a címsoránál fogva áthelyezhetjük máshova.

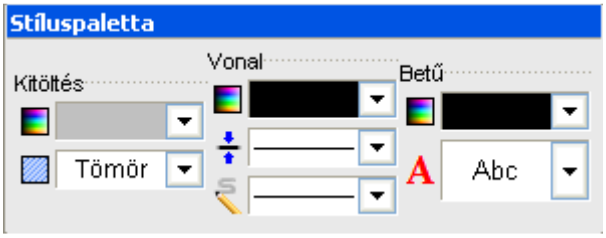
2. ábra

Az eszközpaletta részei:

Az objektumokat az *Eszközpaletta* gombjaival hozhatjuk létre. Minden egyes gomb más és más típusú NeoBook objektumot képvisel, amelyek különböző lehetőségekkel és tulajdonságokkal rendelkeznek. Egy új objektum létrehozásához válasszunk ki egy (a kiválasztó gombtól különböző) gombot az *Eszközpaletta*n, és az egérrel húzzunk egy négyszöget a kiadványunk oldalán. A legtöbb objektumtípusnál egy tulajdonság ablak jelenik meg, amelyik további információkat igényel. Például egy kép vagy egy cikk objektumnál meg kell adni a kép, illetve a szöveges fájl nevét.

4.1.8. Stíluspaletta

A stíluspalettán az objektum megjelenését változtathatjuk meg: kitöltését, körvonalát és a betűk tulajdonságait.



3.ábra

4.1.9. Gördítősáv

Ha olyan részletét akarjuk szerkeszteni a kiadványnak, amelyik a képernyőn kívülre esik, akkor a gördítősáv segítségével juthatunk az adott helyre.

4.1.10. Oldalmutató

A jobb alsó sarokban jelenik meg, hogy éppen melyik oldal látható a munkaasztalon.

4.1.11. A munkaterület beállítása

A NeoBook-ban az ablakokat áthelyezhetjük, vagy a fő program ablakának a széleihez igazíthatjuk. Az ablakok címsoránál vagy a széléhez igazított egységek szélénél megfogva lehet ezeket elmozdítani. Ha az ablakok mozgatása közben lenyomva tartjuk a Ctrl billentyűt, akkor az nem tapad oda a

munkaterület széléhez, hanem továbbra is úszó ablak marad. El is rejthetjük ezeket a kis bezár gombra kattintva, vagy ha megszüntetjük a kijelölést a *Nézet* menüpont alatt. (Az Eszközpaletta és a Stíluspaletta nem rejthető el.)

Szükség lesz a képekre, amelyeket célszerű a PowerPoint szoftver saját rajzeszközeivel kell elkészíteni , majd képként menteni WMF, vagy PNG formátumba és egy „Képek" mappában tárolni őket.

A szövegeket szintén külön célszerű elkészíteni és TRF, vagy TXT formátumba elmenteni egy külön erre a célra létrehozott „Szövegek" mappába.

4.1.12. A NeoBook Fordítás (Compile) funkciója

A kiadvány fordítása, másolása egy másik rendszerben való használathoz azt jelenti, hogy a *NeoBook Fordítás (Compile)* funkcióját használjuk. Ez a folyamat a kiadványunkból egy önállóan futtatható számítógépes programot készít, amit könnyen átvihetünk egy másik rendszerbe. A lefordított kiadvány használatához nem szükséges maga a *NeoBook* program.

Az alábbi tanácsok segíthetnek abban, hogy a kiadványunk minél kisebb helyet foglaljon el:

- használjunk kisebb képfájlokat. Ahelyett, hogy különböző, teljes képernyős grafikákat használnánk a háttérhez, az egyes oldalakhoz, gyakran ugyanazt a hatást érhetjük el egy általános háttérrel, majd kisebb képeket rétegezünk fölé, hogy úgy tűnjön, többféle hátteret használunk. Ez a kiadványunk egységesebb kinézetéhez is hozzájárul;
- ahol lehet, használjunk kevesebb színű képeket. Bármilyen jobb grafikus programmal a képeket olyan felbontásúvá konvertálhatjuk, amelyik palettáján kevesebb szín szerepel. Általában ez a beavatkozás nem jár észrevehető változással;
- használjuk fel többször ugyanazt a képet. Ez különösen hatásos a háttérnél és a logónál;
- azokat az elemeket, amelyeket az összes vagy majdnem az összes oldalon használunk, helyezzük el a „Mester" oldalon;
- próbáljuk meg korlátozni a kiadványban használt betűtípusok számát;
- ha a videók és az animációk rövidek és kis méretűek, akkor nem csak helyet takarítunk meg a lemezen, de gyakran a lejátszás is gördülékenyebb lesz. Ha olyan fájlt alkalmazunk, aminek a háttere ugyanolyan vagy hasonló, mint az oldalé, az animáció kis mérete nem lesz feltűnő. Egy rövid részletet többször lejátszva az effektus hosszabbnak hat.

Ezek után nézzük meg az elkészült önállóan futtatható multimédiás programunkat:

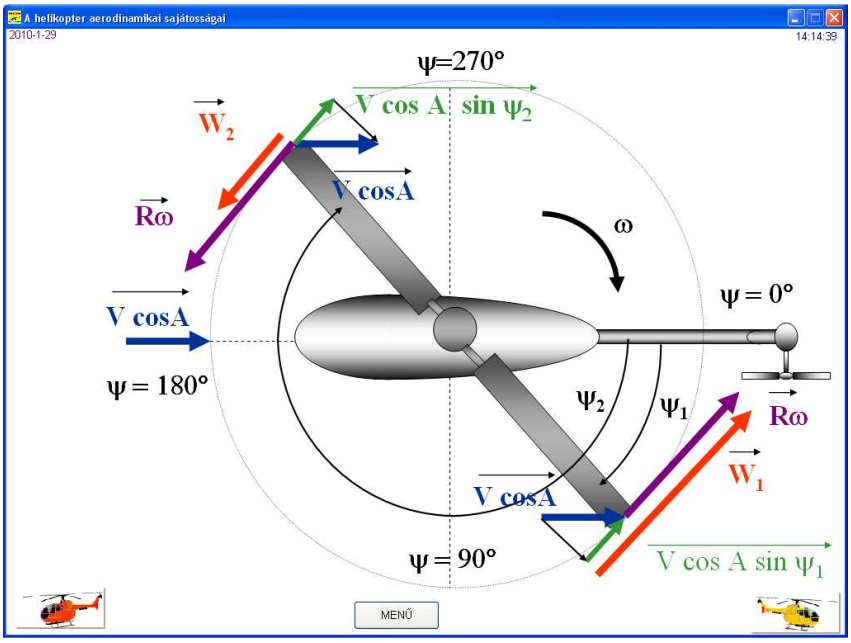
A program elindítása után a kezdő oldal jelenik meg és a „PROGRAM BETÖLTÉSE"(4. ábra).

4. ábra: A program kezdő oldala

Ekkor megjelenik a „FŐMENÜ” oldal ahonnan a menü oldalak hívhatók meg (5.ábra).

5. ábra: A főmenüt tartalmazó oldal

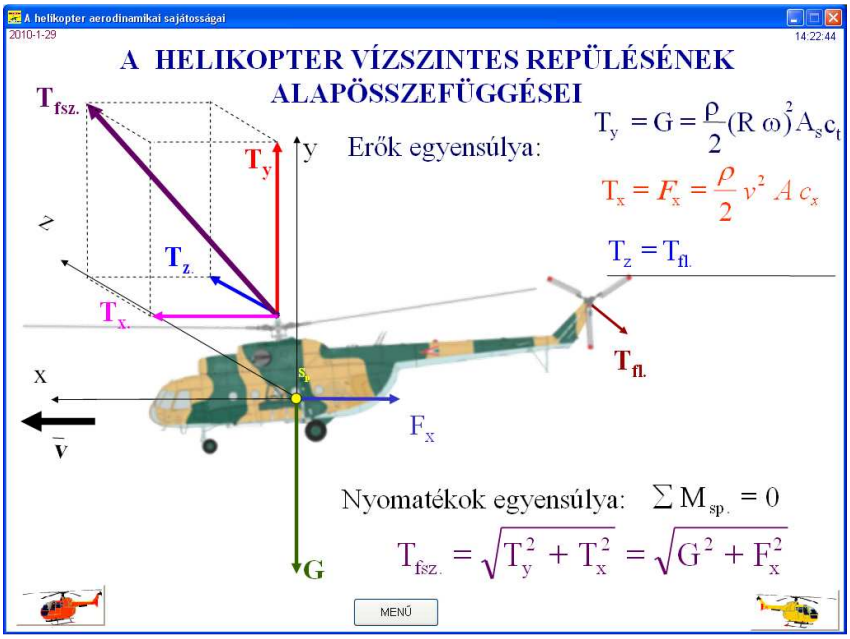
Bármelyik témakör tetszőlegesen választható a tanulmányozáshoz! Válasszuk a „FERDE ÁTÁRAMLÁS I.” témarészt a program további bemutatásához (6.ábra).



6. ábra: A „Ferde átáramlás I.” menüt tartalmazó oldal

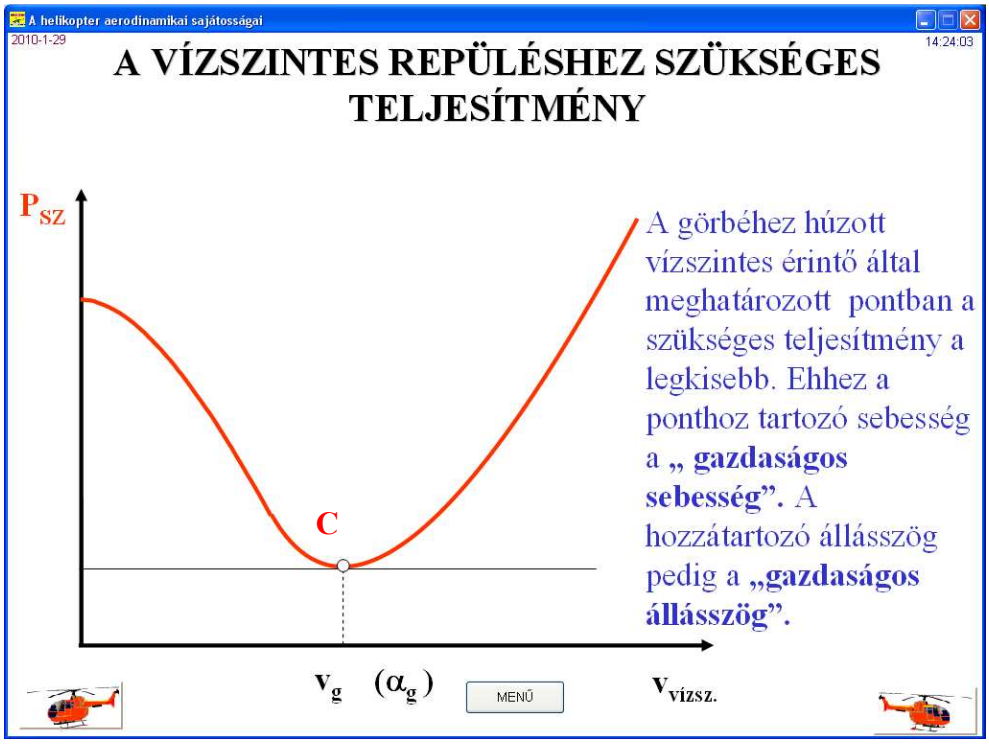
A cikk további részében példaként a helikopter repülésmechanikája témaköréből válogatva mutatom be a program működését.

A helikopterek legfontosabb üzemi állapota a stacionárius, vízszintes repülés. A mérsékelt sebességgel történő vízszintes repülést, mint egyenes-vonalú egyenletes mozgást vizsgáljuk. Ekkor ábrázolnunk kell vízszintes repüléskor a helikopterre ható erőket és az egyensúlyi feltételeket a repülési pálya, valamint arra merőleges irányban. Ez utóbbiakból pedig nem nehéz belátni, hogy a vízszintes repülés sebessége függ a levegő sűrűségétől, a felületi terheléstől és a felhajtóerő tényezőtől. A 7. ábra segítségével az összefüggések lényegének bemutatása történik.



7. ábra: A vízszintes repülés alapösszefüggései

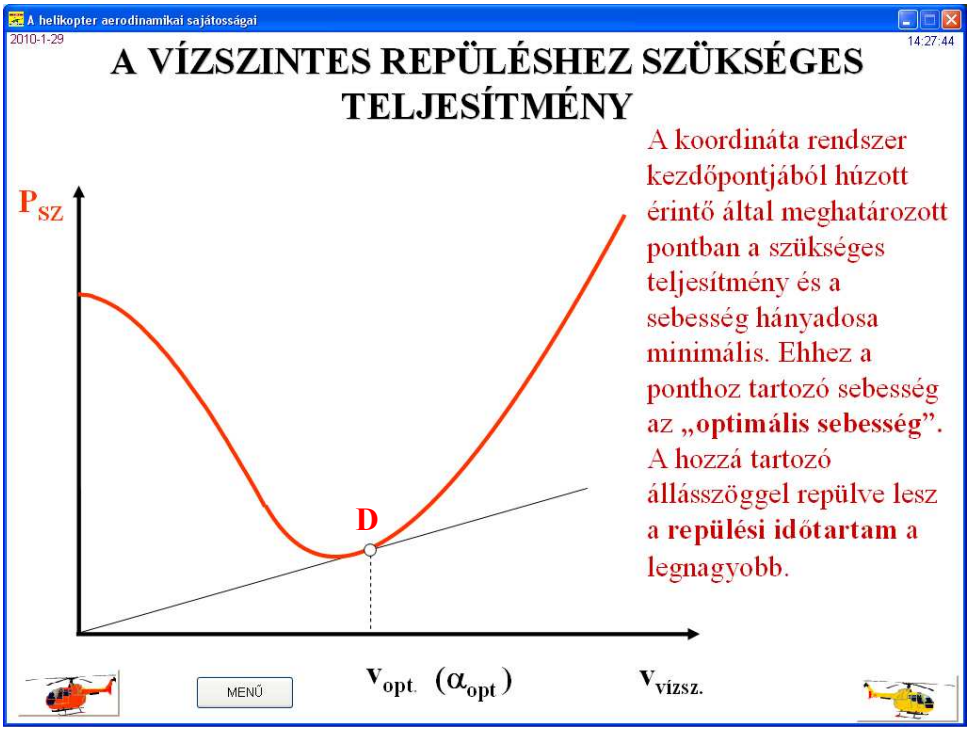
A gyakorlatban grafikus módszer terjedt el a stacionárius, vízszintes repüléshez szükséges teljesítmény (helikoptereknél), valamint a hajtómű által szolgáltatott teljesítmény meghatározására a vízszintes repülési sebesség függvényében. A két görbe metszéspontjával a maximális vízszintes repülési sebesség magyarázata adható meg. Meghatározható a különböző sebességekhez tartozó tolóerő, illetve teljesítményfelesleg, melyek gyorsításra, illetve magasságnövelésre fordíthatók (8. ábra).



8. ábra: A vízszintes repüléshez szükséges teljesítmény görbe

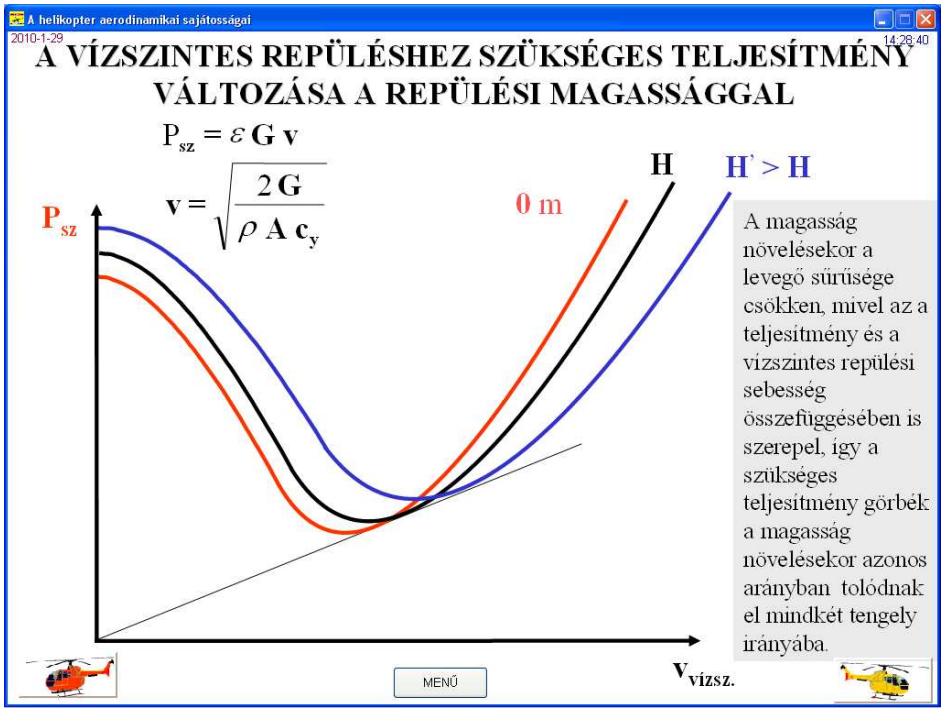
A szükséges vonóerő görbén található két-két jellegzetes pont: a vízszintes érintő és a koordináta rendszer kezdőpontjából a görbéhez húzott érintő érintési pontja. A görbéhez húzott vízszintes érintő által meghatározott „**C**” pontban a szükséges teljesítmény a legkisebb. Ehhez a ponthoz tartozó sebesség az **„gazdaságos sebesség”.** A hozzátartozó állásszög pedig az **„gazdaságos állásszög”** (8. ábra).

A koordináta rendszer kezdőpontjából húzott érintő által meghatározott „” pontban a szükséges tolóerő és a sebesség hányadosa minimális. Ehhez a ponthoz tartozó sebesség az **„optimális sebesség”.** Ezzel a sebességgel repülve minimális az 1 km. távolság megtételéhez szükséges tüzelőanyag, így a **repülési távolság** a legnagyobb lesz. (9. ábra).



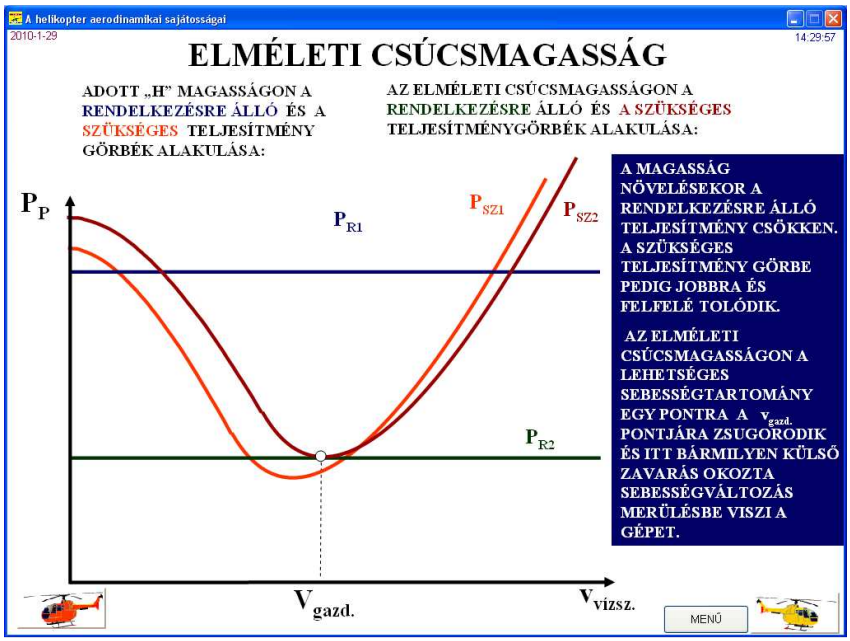
9.ábra: A vízszintes repüléshez szükséges teljesítmény vizsgálata

A repülési magasság növelésekor a levegő sűrűsége csökken. Ennek következtében a vízszintes repüléshez szükséges teljesítmény (légcsavaros-gázturbinás hajtóművel felszerelt gépnél) változik. A program következő oldalán a repülési magasság változás hatását szemléltetem. A három különböző repülési magassághoz tartozó görbék sorrendben történő megjelentetése mellett a változás jellegének magyarázata is megjelenik szövegesen (10. ábra).



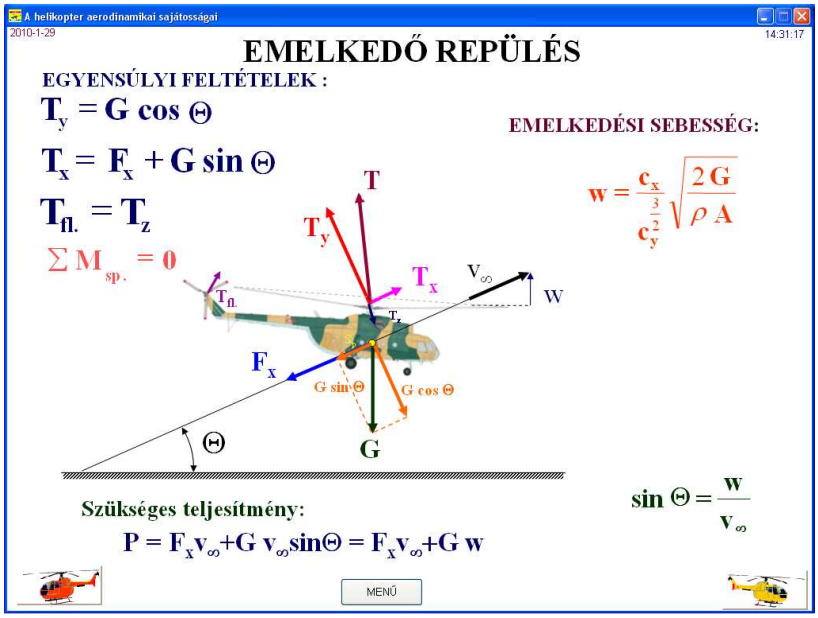
10.ábra: A vízszintes repüléshez szükséges teljesítmény változása a repülési magassággal

A következő programoldalon így a repülési magasság változás hatását szemléltetem (11. ábra).



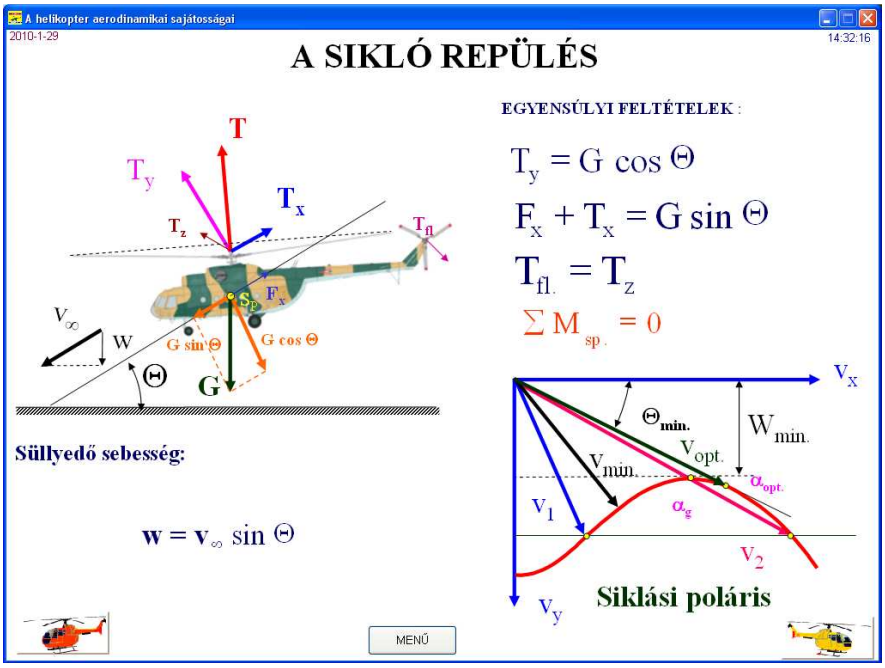
11.ábra: Elméleti csúcsmagasság

A vízszintes repüléstől eltérően emelkedő repüléskor a pályahajlásszög zérustól eltérő és pozitív. Stacionárius emelkedésben a szintén anyagi pontnak tekintett helikopterre ható erőket szemlélteti a 13. ábra. Az erők pálya menti és arra merőleges irányban vannak megrajzolva, valamint e két irányban lettek felírva az egyensúlyi egyenletek is.



12.ábra: Emelkedő repülés

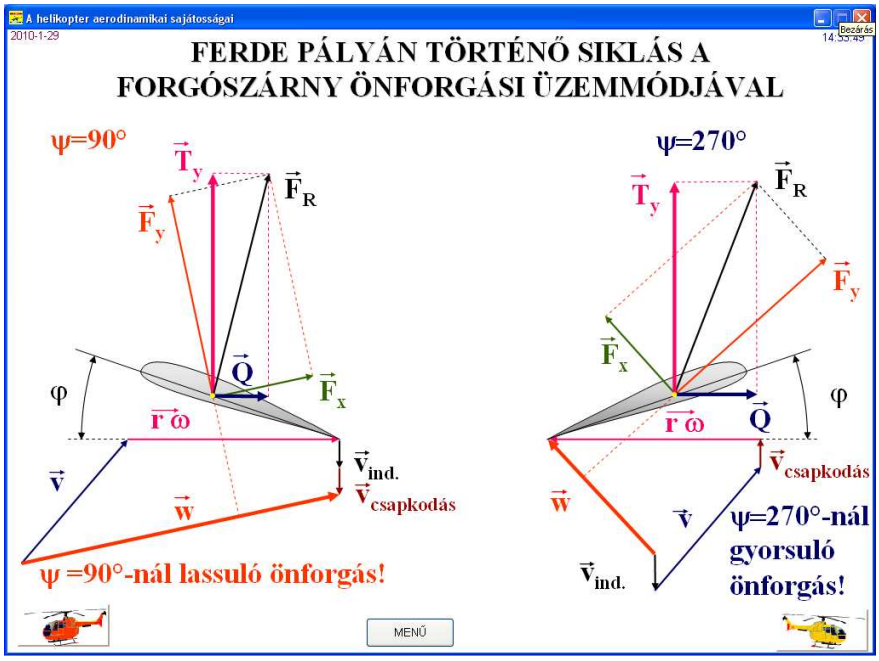
Negatív pályahajlásszög esetén a helikopter siklásáról beszélünk. Az erők pálya menti és arra merőleges irányban vannak megrajzolva, valamint e két irányban lettek felírva az egyensúlyi egyenletek is. (13. ábra).



13.ábra: A sikló repülés

A helikopter siklási sebességét a repülési pálya hajlásszögének függvényében megadó görbe a siklási poláris. A rajz segítségével a szerkesztés menetének megismerése és a siklási polárisból leolvasható adatok értelmezése (v- pályairányú sebesség, v_x- földhöz viszonyított sebesség, w- függőleges süllyedő sebesség) történik. Bemutatható továbbá, hogy azonos pályahajlásszög mellett a siklás két különböző pálya menti sebességgel is (melyhez két különböző állásszög tartozik) végrehajtható (13. ábra).

A függőleges üzemmódok közül a ferde pályán való siklás feltételét mutatja a 14.ábra, amikor is a forgószárny önforgási üzemmódban dolgozik.



14.ábra:Autorotáció ferde pályán

A NEOBOOK programhoz használt képek a PowerPoint programmal lettek megrajzolva és lementve JPG, illetve PNG formátumba.

A kész és teljes, önállóan futtatható, „HELIREPMECHANIKA” exe. program használható a helikopter repülésmechanikája témakörök oktatásánál úgy a BsC. képzésben, mint a különböző tanfolyamok során.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

[1] BARKÓCZI Ilona – PUTNOKY Jenő: Tanulás és motiváció. Tankönyvkiadó, Budapest, 1984.
[2] BÁTORI Zoltán – FALUS Iván szerk.: Pedagógiai Lexikon. Karaban Könyvkiadó, Budapest, 1997.
[3] BENEDEK A.: Számítástechnika a közoktatásban, OPI, Budapest? 1981
[4] BÉKÉSI László:A multimédia alkalmazási lehetőségei a helikopter aerodinamika tantárgy elsajátítási hatékonyságának növelésében. Repüléstudományi közlemények 1999/1 Repüléstudományi konferencia 1999. április 17.
[5] BÉKÉSI László: Új lehetőségek alkalmazhatósága a repülő sárkány-hajtómű szakon tanuló hallgatók képzésében. http://www.mtesz.hu/szolnok/tudnap2000/eahtm/29_Bekesi/29_BEKESI.htm
[6] BRÜCKNER Huba: Számítógépek az oktatásban. Számítógépes oktatás. KSH Kiadó, Budapest, 1978.
[7] CH. SPANIK – H. RÜGHEIMER: A multimédia alapjai, Kossuth Könyvkiadó 1995.
[8] ÉLŐ Gábor, Z. KARVALICS László: ABCD Interaktív Magazin: Hyperkihívás, (1994/2)
[9] ELSAYED H.: Pedagógiai- pszichológiai szempontok a multimédia tananyag készítéséhez. Multimédia az oktatásban konferencia, Budapest, BME., 1998. Jun. 28.
[10] FALUS Iván szerk.: Didaktika. Elméleti alapok a tanítás tanulásához. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998.
[11] Helikopter aerodinamika. Re/565 HM. 1965.
[12] HORVÁTH Róbert: A multimédiás szemléltető anyagok szerepe az oktatásban. http:// www. ektf.hu/rendezv/agria 98/horvath/eloadas.htm
[13] http://pc27.mpigyor.sulinet.hu/okttech/44.htm
[14] IZSÓ Lajos: Multimédia oktatási anyagok kidolgozásának és alkalmazásának pedagógiai, pszichológiai és ergonómiai alapjai, Budapesti Műszaki Egyetem Távoktatási Központ, 1998.
[15] MARTINOVA A.K.: Ekszperimentálnoje isszlédovanyije po aerodinamike vertoljota. Masinosztroenyie, Moszkva, 1972.
[16] Médiakommunikáció: Útban a multimédia-didaktika felé, 1994. 1-2. szám.
[17] MELEZINEK: Mérnökpedagógia- A műszaki ismeretek oktatásának gyakorlata. Tankönyvkiadó, Budapest, 1989.
[18] NAGY Sándor: Az oktatáselmélet alapkérdései, Tankönyvkiadó, Budapest, 1996.
[19] P.GY.: Közoktatás: Multimédia az oktatásban, VIII. évf. / 8. szám, 1997.
[20] POKORÁDI László: Aerodinamika. I., II., III. Főiskolai jegyzet, MH. Szolnoki Repülőtiszti Főiskola, 1993.
[21] Ralf STEINMETZ: Multimédia, Bevezetés és alapok, Springer Hungarica Kiadó (1995).
[22] RENNER Péter, Neosoft Corp.: Készítsük elektronikus kiadványt, multimédiás CD-t egyszerűen a NEOBOOK Professional for Windows programmal.
[23] SCHRAMM, W.: Az új tanítási eszközök az Amarikai Egyesült Államokban. In: nouvelles méthodes et techniques d'educaton. Études et Dokuments d'Education. No. 48. Paris. UNESCO. 1. Fej. Ford.: Kiss Árpád. OPKM- dokumentum.
[24] TÓSZEGI Zsuzsanna: Multimédia a könyvtárban. Akadémia kiadó, Budapest, 1997.
[25] TÓTH Dezső: Multimédia LSI oktatóközpont ISBN 963 577 168 1
[26] TÓTH Dezső: Multimédia mikroszámítógépes környezetben, LSI OMAK, 1996.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Bera József

REPÜLŐTÉR-HASZNÁLAT ÉS ZAJTERHELÉS ÖSSZEFÜGGÉSEI A REPÜLŐKÉPZÉSBEN

Magyarországon az 1930-as években kezdték kiépíteni a katonai célra —természetesen polgári repülésre is használható— alkalmas repülőtereket, melyek általában nagyvárosokhoz közel, de a lakóterületektől legalább 4-5 km-es távolságban kaptak helyet. A repülőterek kialakításánál lényeges szempont volt, hogy a kijelölt ingatlan a lakóterületektől távol helyezkedjen el, ami egyéb szempontok mellett biztosította a lakosság zajhatás elleni védelmét is.

Az 1960-as évektől kezdődően folyamatosan növekedett a gazdaság teljesítőképessége, de az elmúlt 20 évben meghatározó lett a minőségi- és mennyiségi változás mértéke is, ami a közlekedés, ezen belül a légi közlekedés számára újabb feladatokat és kihívást, illetve lehetőségeket jelent. A hagyományos vidék átalakulásának eredménye, hogy a tanyák fokozatos felszámolásával és a mezőgazdasági építmények átalakulásával újabb területek állnak rendelkezésre gazdasági-ipari övezetek kijelölésére, vagy üzemek létesítésére. Ezzel együtt újabb lakótelepek —napjainkban lakóparkok— épültek, fokozatosan növekedett a lakóterületek kiterjedése.

A létesítésnél még meglévő, esetenként 4-5 km-es távolságot a települések fokozatosan felszámolták, vagyis a városok ráépültek a repülőterekre, amit jogszabályi alapokra helyezett és hatékony követelményrendszer nem szabályozott, a repülőterek oldaláról ennek befolyásolására nem volt lehetőség. A jelenlegi helyzetben is csak kezdeti lépések történtek a települések és a repülőterek viszonyából eredő zajhelyzet rendezésére, és kezelésére. Példaként említhetjük Ferihegy Nemzetközi Repülőtér vagy Tököl Repülőtér mellett a Kecskemét Repülőteret és Pápa Repülőteret, de hasonló gondokkal küzd Szentkirályszabadja Repülőtér is.

Napjainkban a lakosság egyre érzékenyebb a környezeti zajhatásokra, elutasítással kezeli a helyzetet. Azonban tényként kell rögzíteni, hogy a repülőterek közelében a legújabb lakóházak olyan kicsi távolságban épültek fel, hogy szinte képtelenség jelentős beavatkozás vagy korlátozás nélkül a repülési zajterhelést határértékre csökkenteni. A zajhatáshoz kapcsolódó konfliktus feloldásának és későbbi megelőzésének hatásos eszközeként általában a zajvédelmi programok megvalósítását tartjuk, de az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy ezek végrehajtása nehézkes, több olyan akadályba ütközik, amit a repülőterek üzemeltetői nem tudnak sikeresen leküzdeni.

A környezetkímélő repülési eljárások kidolgozása és a kisebb zajterhelést okozó repülőtér-használat megvalósítása a repülőszakemberek mellett azon szakértők bevonását igényli, akik a zajvédelmi szakmai kérdéseket kezelik. A feladat során rendszeresen merülnek fel olyan kérdések zajszakértői oldalról —pl. repülési eljárások és zajterhelés közötti összefüggések—, melyek

megválaszolása csak közös tevékenység keretében lehetséges. Ennek egyik alapfeltétele, hogy a repülőszakemberek is tisztában legyenek a repülés és a zajvédelem kapcsolatrendszerével.

Eddigi kutatásaink számos adatot és megállapítást eredményeztek, melyek ismerete hasznos lehet a ma és a jövő repülőszakemberei számára, azonban a képzés és az oktatás tekintetében még jelentős hiányosság tapasztalható ezen a területen. Jelen dolgozat célja annak bemutatása, hogy a repülőszakember képzés számára mit tudunk adni a rendelkezésünkre álló, repülőtér üzemeltetésből és repülésből származó környezeti zajjal kapcsolatos eredményeinkből, milyen zajproblémák jelentkeznek a repüléssel összefüggésben, amit meg kell oldaniuk a repülés aktív részeseinek.

REPÜLÉSI ZAJ HELYE A ZAJVÉDELEM RENDSZERÉBEN

Repülőterek, valamint leszállóhelyek környezetében kialakuló zajterhelést elsődlegesen a repülés jellemzői, így a műveletszám, a repülési irány- és útvonal, a repülési magasság, illetve a légi járművek kategóriája és zajkibocsátása határozza meg. A zajterhelés mértékét és a kimutatható zajjellemzőket, ezzel összefüggésben egy-egy zajvizsgálat körülményeit ugyanakkor az alapzaj és a háttérterhelés is befolyásolja, ami a vizsgált terület adottságaitól és beépítettségétől függ. Sok esetben a zajforrások száma és hatása miatt érvényesül a repülési zaj eltérően térben és időben. De zavaró tényező lehet akár maga a település is, vagy legtöbb esetben egy másik közlekedési zajforrás.

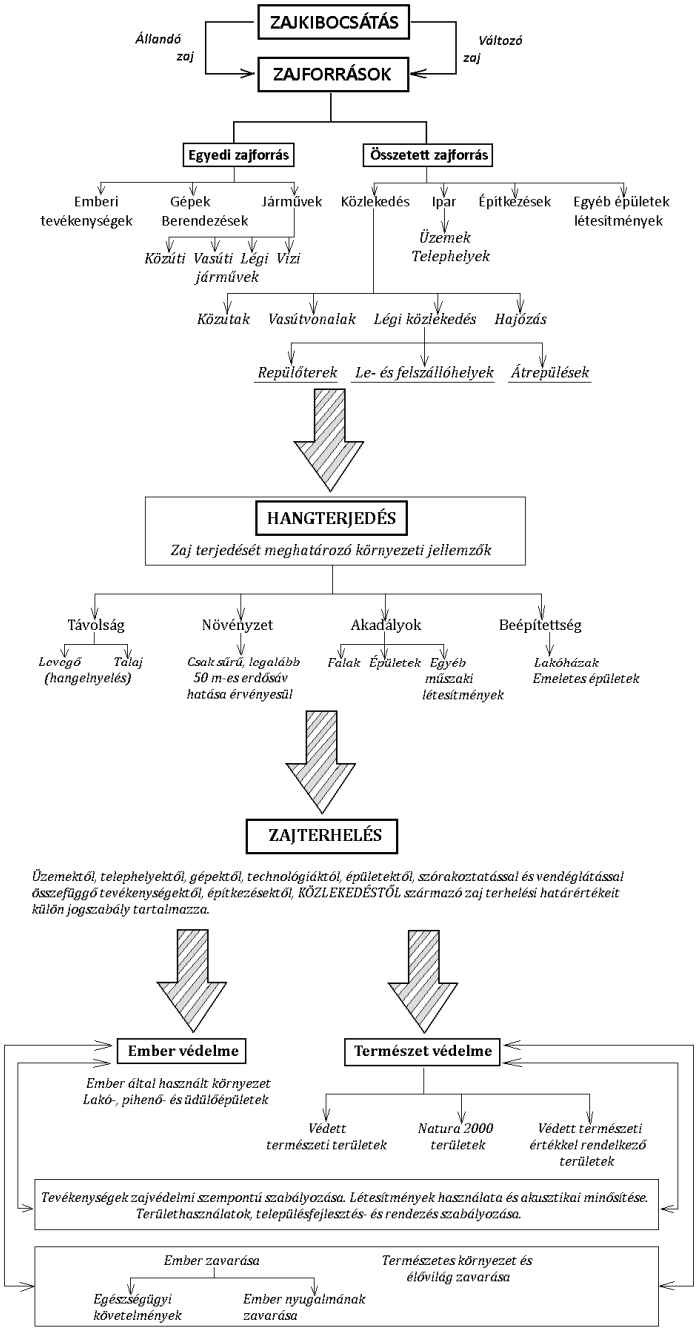
Mielőtt a repülési zaj értékelését megkezdenénk érdemes áttekinteni a környezeti zajterhelés kialakulását befolyásoló tényezőket, azok logikai kapcsolatát, illetve a zajkibocsátás, a zajterjedés és a zajterhelés összefüggéseit. Ebben van segítségünkre az 1. szánú ábra.

Nem szorul különösebb magyarázatra, hogy az emberi tevékenységek rendszerében a repülési zaj szinte soha nem jelenik meg önálló hatásként, a repüléssel érintett területeken egyéb más tevékenységektől vagy zajforrásoktól származó zajterhelés is érvényesül. A különböző forrásokból származó zajok összeadódnak, így a repülési zaj —kisebb-nagyobb mértékben— csak módosítja az alapállapotra jellemző zajterhelést. Egy-egy területen, különböző időpontokban végzett mérések eredményei mutatják szemléletesen, hogy mennyire változott a környezeti zajterhelés, milyen mértékben csökkent vagy növekedett az alapzaj a repülés —leszállás, felszállás, vagy földi üzemeltetés— hatására. Ebből a szempontból lényeges az eltérő időszak és a különböző helyszín, mivel a különböző települések vagy területek zajvédelmi szempontú összetettsége az alaphelyzetet is meghatározza. Emiatt az alapzaj helyett egyre inkább a háttérterhelés vizsgálatára helyezzük a hangsúlyt, ami napjainkban már a jogalkotásban is megjelent. De mi a különbség az alapzaj és a háttérterhelés között, és milyen tényezők határozzák meg az észlelt zajhatásokat?

Amennyiben a fogalmi meghatározásban keressük kérdésünkre a választ, a következő műszaki előírásokat és jogszabályba foglalt követelményeket vehetjük figyelembe:

— alapzaj olyan, a mérést zavaró zaj, melyet a mérés helyén, a mérési idő alatt nem a vizsgált zajforrás okoz, és zavaró hatása méréstechnikailag nem küszöbölhető ki;

— háttérterhelés a környezeti zajforrás hatásterületén a vizsgált zajforrás működése nélkül, de a forrás típusának megfelelő zajterhelés.



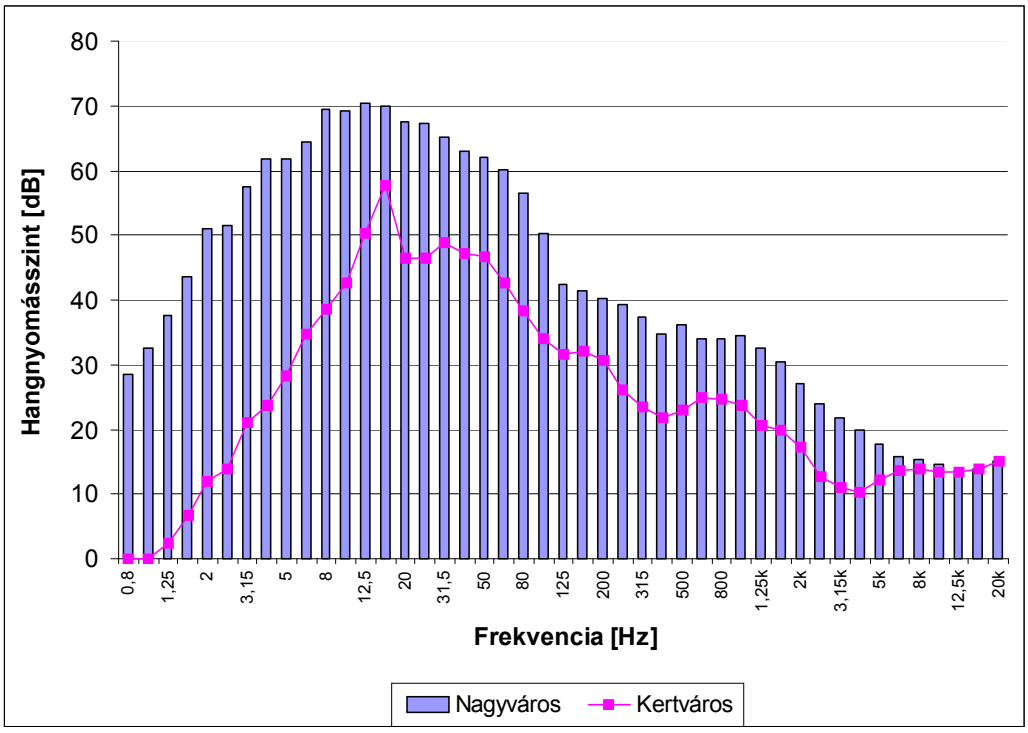
1. ábra: Zajterhelés kialakulását befolyásoló tényezők logikai kapcsolata

A repüléssel foglalkozó szakembereknek tehát azzal is tisztában kell lenniük, hogy az adott repülőtér vagy leszállóhely milyen környezetben helyezkedik el, ezért a tevékenységükkel érintett környezet adottságait figyelembe kell venniük a repülési zajterheléssel összefüggésben hozott döntéseiknél. Az 1. számú ábrából látható az is, hogy a légi közlekedés nem csak szerves része a környezeti zaj rendszerének, hanem különbséget kell tennünk a repülőtér vagy a leszállóhely, mint közlekedési létesítmény használata és az „egyszerű” átrepülések között. Ennek jelentősége a használni

kívánt légtér, pl. iskolakörök vagy küldő légterek kijelölésénél jelenik meg, de a környezetvédelmi szempontból korlátozott légterek igénybevételét is befolyásolja, esetenként a bevezetett korlátozásra kell figyelemmel lenni.

REPÜLÉSI ZAJ ÉS HÁTTÉRTERHELÉS

A repülési zaj vonatkozásában a környezet adottságait tekintve a háttérterhelés lesz a meghatározó. Ezt szemléletesen úgy tudjuk jellemezni, hogy adott területen, a szubjektív módon észlelt zajszintekből milyen mértékben emelkedik ki a repülési zaj, vagyis az alapállapoti zajhelyzetet mennyiben változtatta meg a repüléstől származó, időegység alatt fellépő zajterhelés. Ez elsődlegesen a vizsgált terület beépítettségétől, ezzel összefüggésben a jellemző háttérterheléstől függ. Fontos megjegyezni, hogy sok esetben a zajforrások hiánya miatt nem is beszélhetünk háttérterhelésről, amire az alacsony átlagértékekből következtethetünk. Két különböző terület zajállapotára mutat példát a 2. számú ábra, ahol a mért átlagos hangnyomásszinteket a frekvencia függvényében ábrázoltuk.

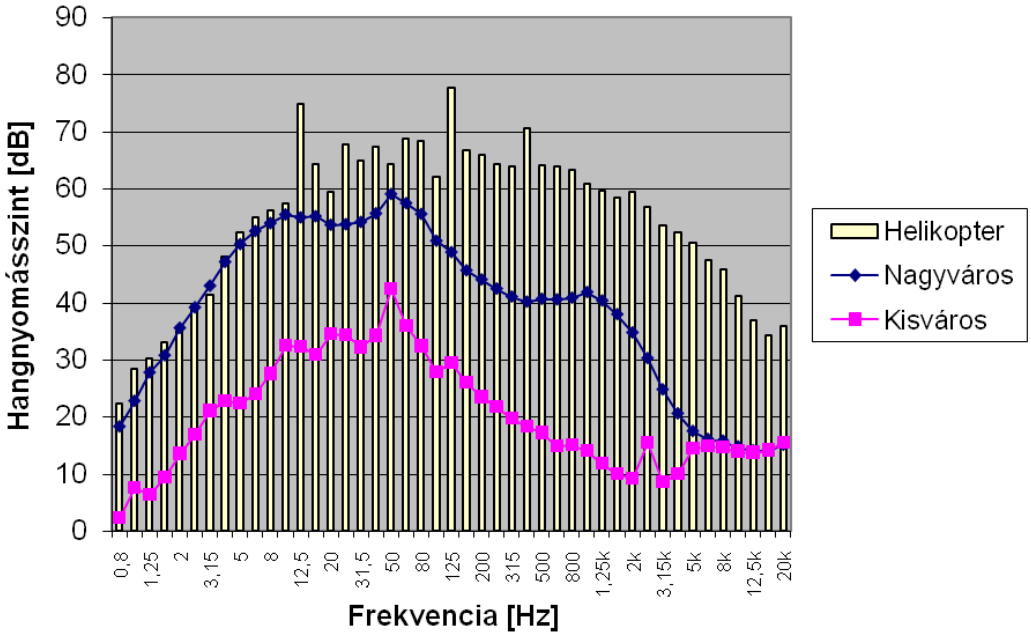


2. ábra: Átlagos hangnyomásszintek eltérő beépítettség esetében

A repülési zajjal érintett környezetet tekintve szembetűnő a teljes frekvencia-spektrumra jellemző zajszint-különbség, amit természetesen az adott területen működő zajforrások száma okoz. Ebben a tekintetben azonban érdemes figyelembe venni azt is, hogy a háttérterhelés milyen zajforrástól származik, hiszen visszatekintve az 1. számú ábrára, egyértelmű összefüggés állapítható meg a zajforrások jellege és a háttérterhelés kialakulása között. Ez az egyszerű megállapítás akkor kap nagy szerepet, amikor a repülési zaj a háttérterheléshez hozzáadódik, és módosítja a korábban már kialakult, esetenként állandónak tekintett zajhelyzetet. A változás mértéke eltérő lesz a különböző beépítettségű

környezetben, ami a zavaró hatás kialakulását és megítélését, vagy a zajterhelés értékelését is alapvetően meghatározza. Ez a tény a hagyományosan alkalmazott határértékekkel nem kezelhető, így nagyobb jelentőséggel bír, mint amit a jelenlegi szabályozással biztosítunk neki.

Az alapzaj és az esetleges háttérterhelés, valamint a repülési zaj együttes értékeléséhez meg kellet vizsgálnunk, hogy a távoli vagy nem azonosítható zajforrásoktól származó zaj jellege és a légi járművektől származó zaj mérési eredményei milyen eltérést mutatnak. Ennek céljából méréseket végeztünk eltérő települési környezetben —nagyvárosban és kisvárosban—, és egy olyan helikopter leszállóhely mellett, ahol nem volt más meghatározó zajforrás. A helikoptertől származó zajszinteket a leszállóhelytől számított 50 m-re kijelölt terhelési pontban vizsgáltuk, leszállás-állóhelyi üzem-felszállás során. A mérési eredményeket a 3. számú ábrán foglaltuk össze.



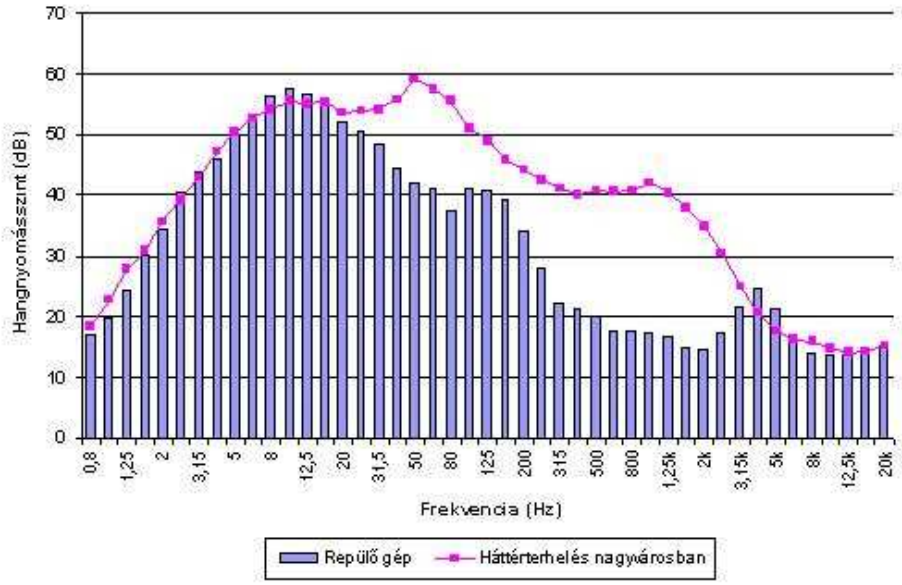
3. ábra: Átlagos hangnyomásszintek eltérő beépítettség esetében

A vizsgálati eredmények alapján jól látható, hogy a csendesnek tartott, közlekedési- és gépzaj nélküli környezetben észlelt zajszinthez képest egy helikopter leszállóhelytől és a repüléstől származó zaj jól elkülöníthető módon észlelhető, meghatározza környezetének —esetenként módosult— zajhelyzetét. A külön-külön, eltérő környezetben végzett vizsgálatok eredménye azt mutatja, hogy a helikopterzaj, vagyis a repülési zaj a nagyvárosban rögzített zajszinteket a 12,5 Hz feletti frekvenciatartományban haladja meg. Kimagasló zajszint értékeket a hallható tartományban, a 125 Hz és a 400 Hz értékeknél tapasztaltunk. Hangsúlyozzuk, hogy a helikoptertől származó zajszint értékek 50 m-es távolságra vonatkoznak.

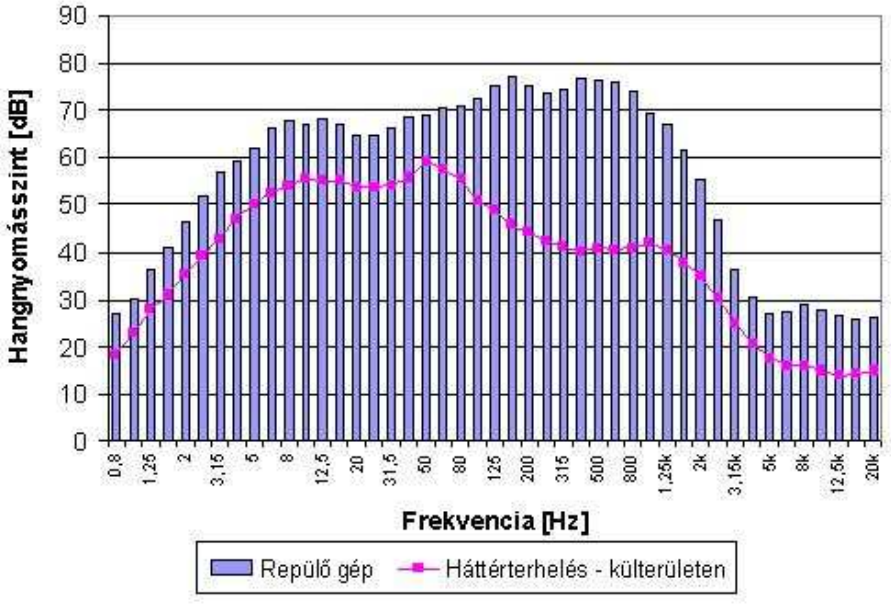
Mérési tapasztalataink szerint a városokban, lakóházakkal beépített környezetben magas, az előírt határértékekhez közeli háttérterhelés észlelhető. A le- és felszállóhelyek, illetve repülőterek környezetében, vagy az aktuálisan kijelölt terhelési pontban emiatt nem csak a légi járművektől származó zajt, hanem az összegződő zajterhelést észleljük és mérjük. Azonban a szubjektív érzékelés

szempontjából a repüléstől származó zaj megjelenése, vagyis érkezéskor a környezeti alapzajtól való kiemelkedés, távolodáskor a környezeti alapzajban való eltűnés adja a zajhatást.

Az átrepülésektől származó zaj repülőterek környezetében, illetve az érkező és a távolodó teher- és utasszállító repülőgépek —maximális felszálló tömeg meghaladja az 5,7 t-át— miatt fellépő zajterhelés szempontjából is számos problémát okoz. Az utazási magasság elérésével a földi terhelési pontban okozott zajterhelés a legtöbb települési környezetben már nem lesz jelentős mértékű, azonban a környezeti adottságok miatt kimutatható különbséget ebben az esetben is érdemes vizsgálni. Ennek céljából méréseket végeztünk nagyvárosi területen, valamint falusias lakóterület szélén, a kimutatható hangnyomásszinteket a 4. és 5. számú ábrák szemléltetik.



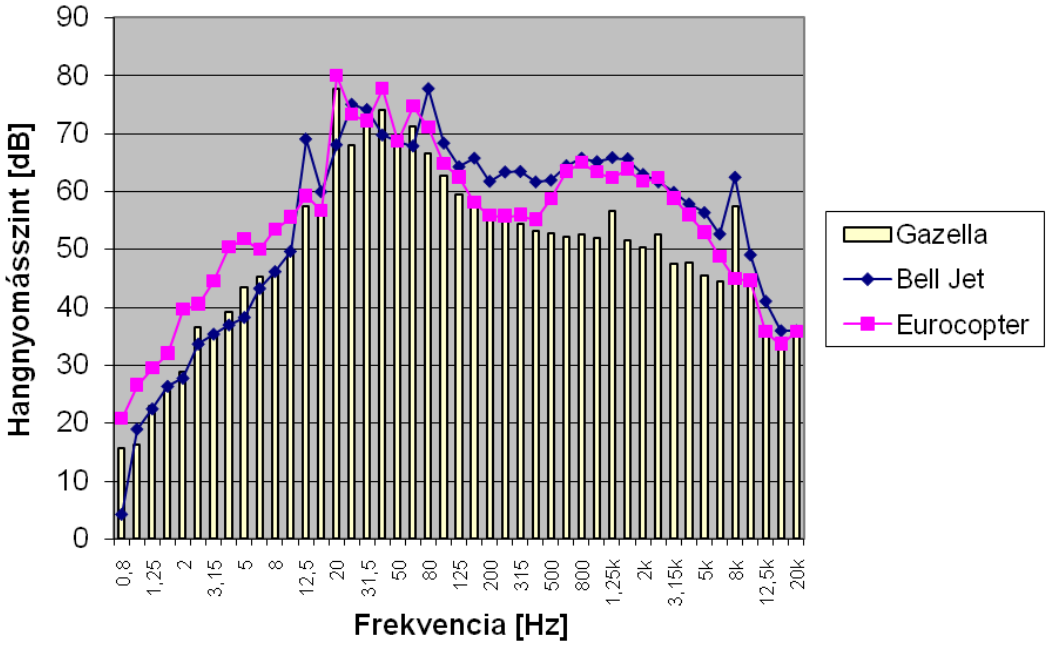
4. ábra: Repülési zaj nagyvárosban



5. ábra: Repülési zaj háttérterhelés nélküli környezetben

ÁTREPÜLÉSI ZAJSZINTEK

A terhelési pont, illetve egy-egy védendő létesítmény feletti átrepülés miatt fellépő zajterhelés is meghatározó szempont a repülési zaj értékelésénél. Szintén leszállóhely vizsgálatához kapcsolódva végeztünk méréseket több különböző, elterjedten alkalmazott helikopter típus vonatkozásában. A mérési pontot a berepülési útvonal alatt, földfelszín felett 1,5 m-es magasságban jelöltük ki. Az átrepülési magasság a teljes vizsgálati időben, azaz mindhárom repülési műveletnél 20 m volt. A mérési pont helyzete és a szabad hangtér biztosította a szokásos észlelési körülményeket. A vizsgált helikopter típusok: Eurocopter, Bell Jet, Gazella. Ezeket a helikoptereket előszeretettel használják személyszállítás céljából városi környezetben, lakóterületek közelében. A mérési eredményeket a 6. számú ábra szemlélteti.



6. ábra: Átrepülési zajszintek, repülési magasság 20 m

Helikopterek eltérő magasságon történő átrepülésétől származó zajterhelést MI-24 Hind típusú helikopterrel végzett átrepülésekre vonatkoztatva végeztük el. A zajmérésre 1,5 m magasságban kijelölt észlelési pontban, a helikopter eltérő repülési magassága és távolsága mellett került sor. A terhelés pont és a zajforrás távolságát módosítottuk, az első mérés 25 m-es, a második mérés 50 m-es, a harmadik mérés 100 m-es távolságnál történt. A terhelési pontban kimutatott, átrepülésektől származó hangnyomásszinteket az 1. számú táblázatban foglaltuk össze.

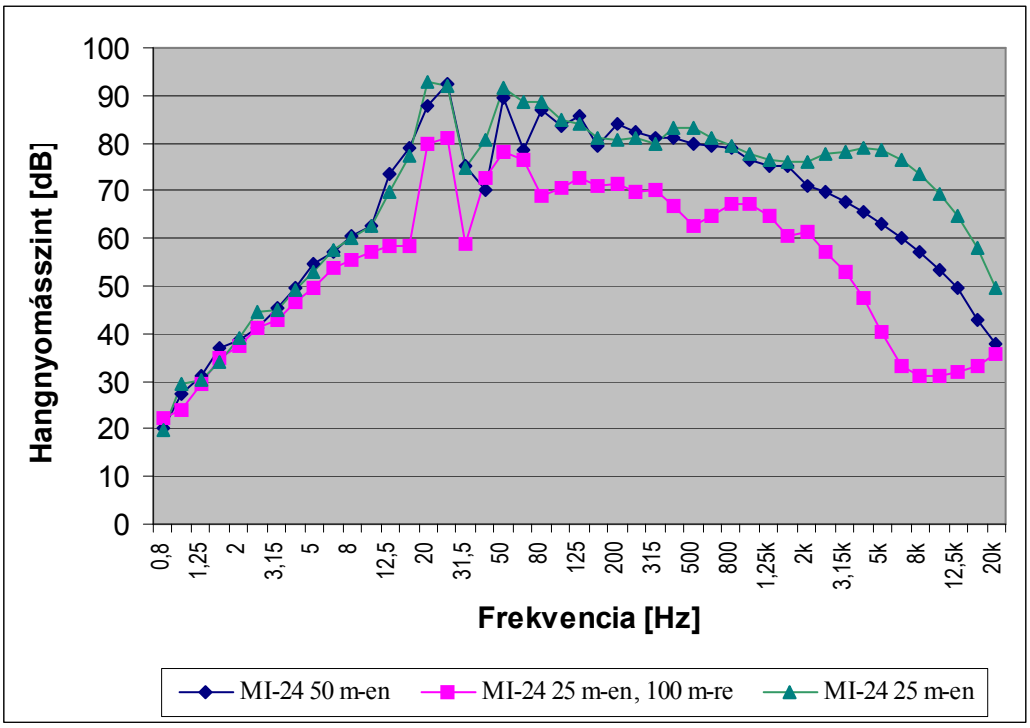
MI 24, 50 m-en átrepül			MI 24 50 m-re, 100 m-re átrepül			MI 24 25 m-en átrepül		
L_{max}	L_{min}	L_{Aeq}	L_{max}	L_{min}	L_{Aeq}	L_{max}	L_{min}	L_{Aeq}
100,4 dB	56,0 dB	86,4 dB	84,0 dB	55,2 dB	74,1 dB	103,2 dB	62,1 dB	89,9 dB

1. táblázat: Zajszintek MI-24 Hind helikopter átrepülése során

Az átrepülési zajszintek értékelésénél levont elsődleges megállapítás, hogy a repülési magasság kismértékű növelése kis távolságnál—esetünkben kétszeresére, azaz 25 m-ről 50 m-re— csak méréssel kimutatható módon módosította a hangnyomásszinteket, de szubjektív észleléssel ez az eltérés nem volt érzékelhető. Mindez a magas, L_{max} = 100,4 dB-es és L_{max} = 103,2 dB-es zajszintek mellett abból is következik, hogy a távolság ilyen kismértékű megváltozása nincs jelentős hatással a terhelési pontban észlelt zajszintekre. Megjegyezzük, hogy 100 dB feletti, vagy ahhoz közeli hangnyomásszintek esetében a hanghatás felezésével elért 3 dB-es zajcsökkenés a szubjektív érzékelést nem befolyásolja érdemben. A repülési zaj esetében, mind a repülőterek, mind a le- és felszállóhelyek környezetében 3 dB-nél jóval nagyobb zajcsökkentést kell elérni ahhoz, hogy érzékelhető, kedvező irányú hatást érjünk el. Emellett a zajcsökkenésnek minden frekvenciasávra ki kell terjednie, amit a hangnyomásszint-frekvencia jelleg együttes hatása indokol.

Más a helyzet, amikor a terhelési pont és a zajforrás távolságát már jelentősebben növeltük, a repülési magasságot 50 m-en tartva, az oldalirányú távolságot 100 m-en választottuk meg. Ekkor mind az L_{max} értékekben, mind az átrepülésre vonatkoztatott L_{Aeq} egyenértékű hangnyomásszintekben jóval nagyobb eltérés mutatkozott. A zajszint csökkenése már jelentősnek mondható, de ekkora távolság mellett is meghaladja a zavaró hatás mértékét és jellegét. A mért értékek alapján megállapítható, hogy a zajterhelésre a kismértékű repülési magasság mellett a zajforrás és terhelési pont távolságának növelése volt érdemben hatással.

A szubjektív módon észlelhető hallástartományban, valamint az infrahang tartományban rögzített zajszinteket a 7. számú ábrán foglaltuk össze.

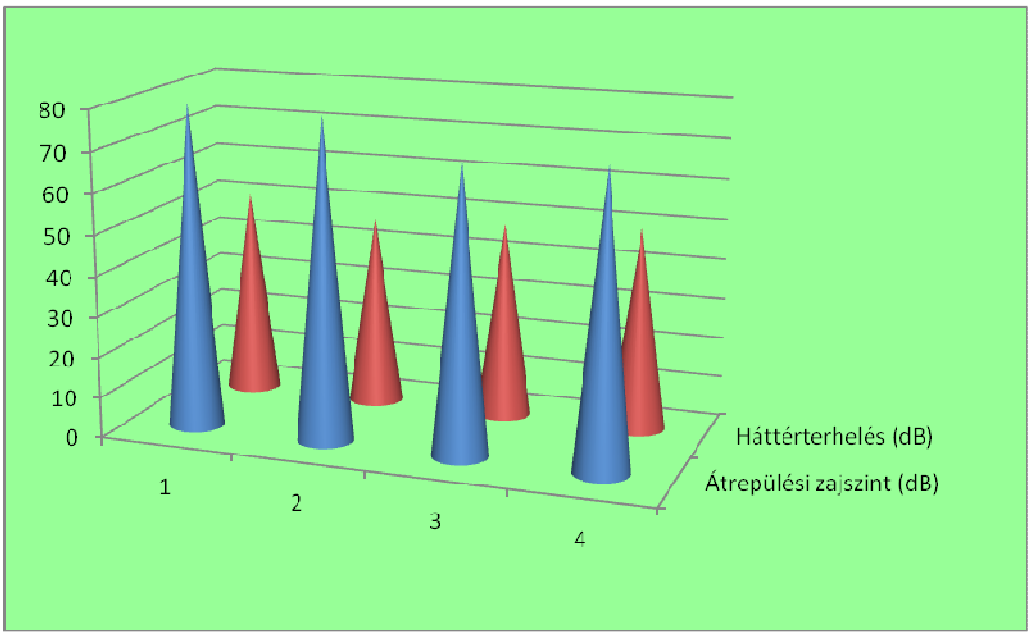


7. ábra: Átrepülési zajszintek eltérő repülési magasság és távolság esetében

REPÜLÉSI MŰVELET HATÁSA

Repülőterek, valamint le- és felszállóhelyek környezetében a jelenleg alkalmazott —jogszabályban is előírt— vizsgálati eljárás szerint a repülési zaj értékelésénél, illetve a zavaró hatás mérlegelésénél az egyedi átrepülésektől származó zaj átrepülési időre vonatkozó, méréssel megállapított értékei a mérvadók. A vizsgálatok sorra azt igazolják, hogy a repülési műveletekhez kapcsolt legnagyobb zajszintek jóval meghaladják a számítással nyert egyenértékű szinteket, és az elért zajcsökkentés az $L_{max.}$ értékekben nem okozott hatékony csökkenést. Ennek jelentősége a zaj megítélésében és az esetlegesen kialakuló lakossági konfliktus helyzetben van.

A vonatkozó jogszabályokban előírt követelmények szerinti minősítés esetében a nappali 16 óra és az éjszakai 8 óra megítélési idővel számolunk, ami a mért egyenértékű hangnyomásszintekhez képest kisebb értéket ad, a legtöbb esetben a határértékek teljesülését eredményezi. A vizsgálati eredmény függ a forgalomtól is, azaz a nappali vagy az éjszakai műveletszámtól. Így van ez akkor is, ha a bekövetkező zajszint-változás vagy a maximum értékek alakulása kimagasló jellegű, ami fokozza a zavaró hatást. A zajesemény-szintek és a környezeti alapzaj közötti különbséget szemlélteti a 8. számú ábra.



8. ábra: Zajesemény-szintek és háttérterhelés

Az elvégzett vizsgálatok alapján levonható az a következtetés is, hogy a repülési műveletek között kialakuló rövid, esetenként 4-5 perces időtartam ront a zajhelyzeten, a műveletszám gyakorisága a zajterhelést növeli, a rövid „csendes” időszakokban ugyanakkor a területre jellemző háttérterhelés a meghatározó. A zajszint-változás gyakorisága, és ezzel együtt a mértéke folyamatos zavaró hatást okoz, vagyis a „csendes” időszakok túl rövidek ahhoz, hogy kedvező hatást érjünk el, sok esetben pedig ellenkező hatást okoz.

AMIT A REPÜLÉSI ZAJ KEZELÉSÉRŐL TUDNI KELL

A repüléssel kapcsolatban —repülőterek, le- és felszállóhelyek létesítése és üzemeltetése— napjainkban megfogalmazott igényekre figyelemmel szinte minden esetben számolni kell a repülési zaj miatt jelentkező feladatokkal. Ennek oka elsősorban az, hogy a repülési műveletekre olyan területen kerül sor, ahol zaj ellen védendő építmények helyezkednek el, sok esetben a repülés közel kerül a lakóterületekhez. Ebbe a kategóriába tartoznak azok a le- és felszállásra kijelölt területek, melyeket egy-egy helyi rendezvény, vagy munkavégzés és időszakos személyszállítás céljából vesznek igénybe a légijárművek. De a nagyobb repülőterekhez kijelölt ki- és berepülési útvonalak is érintenek települési környezetet.

E tekintetben külön kategóriát képvisel a környezetvédelmi szempontból korlátozott légterek időszakos igénybevétele, ahol rövid ideig, valamilyen munkavégzés céljából szükséges a berepülés. Számolni kell ebben az esetben azzal is, hogy a környezeti zaj- és rezgésterhelési hatásértékek megállapításáról szóló 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet —ami a repüléstől származó zaj követelményértékeit is tartalmazza— nem ismeri a „természetvédelmi szempontból védett terület” kategóriát, így ilyen jellegű határértéket sem ír elő. A repülési zaj megítélése ebben az esetben tényleges követelményértékek mellőzésével, a zavaró hatás feltételezésén alapul, ami nem vezet minden esetben megfelelő eredményre, illetve a repülés teljes korlátozását eredményezheti.

Repülési zaj kezelése

A létesítésre irányuló engedélyezési eljárásokban egyebek mellett meg kell adni a repülőtér, vagy a le- és felszállóhely környezetének meghatározó jellemzőit, az ott elhelyezkedő épületek védettségi minősítését, valamint a repülési eljárásokra és a tervezett műveletszámra vonatkozó adatokat. Amennyiben ezeket az adatokat összevetjük a repülési zajjal kapcsolatosan rendelkezésre álló adatokkal, együttes kezelésük már jó támpontot szolgáltat a várható zajterhelés és az esetlegesen felmerülő problémák kezeléséhez. Ennek jelentősége a létesítésnél van, hiszen előzetesen kell megítélni a várható zajhatást, ami üzemeltetői és hatósági oldalról is kiemelt jelentőséget kap. Az adatszolgáltatás megalapozása természetesen ahhoz is hozzájárulhat, hogy a repülés indokolatlan vagy túlzott —természetesen a környezetvédelmi követelmények érvényre juttatását szem előtt tartva— korlátozása történjen meg. Feltesszük a kérdést, hogy hol húzható meg a határ a repülési tevékenység és a zaj elleni védelem között, ami a kíméletes környezethasználat megvalósulását is jelenti?

Zajgátló védőövezetek kijelölése jogszabályba foglalt előírás alapján történik, adott kategóriába tartozó repülőtér esetében végrehajtása kötelező a repülőtér működtetése szempontjából. Tévhit azonban azt gondolni, hogy a zajgátló védőövezet véd a zaj ellen. Védelmet vagy zajcsökkentést önmagában nem jelent, az eljárás keretében azok a kötelezettségek kerülnek meghatározásra, melyek a repülési zajjal érintett területek felhasználására és hasznosítására, az ott található épületek fenntartására, illetve a repülési tevékenység szabályozására vonatkoznak.

A zajgátló védőövezet tehát a zaj terjedését nem akadályozza, de létesítésénél két fontos tényező érvényesítésére célszerű törekedni:

— Zajgátló védőövezet kijelölésénél az érintett területek zajvédelmi szempontú felmérése és minősítése, az ott érvényesülő háttérterhelés is jelentőséggel bír. Amennyiben figyelemmel vagyunk a repülések miatt fellépő zajterhelés-növekményre is (3-4-5. ábrák), a tényleges érintettség és zajhatás megítélése is közelebb kerül a valós helyzethez, kiszűrhetőek lesznek az indokolatlanul vagy rosszul megfogalmazott követelmények;
— Zajgátló védőövezetben a meglévő, még beépítetlen, esetleg növényfedettséggel rendelkező területek zajvédelmi szempontból kedvezőbb feltételeket adnak. Az ilyen területek fenntartása szükségszerű, így kiemelt figyelmet kell erre is fordítani.

Repüléssel kapcsolatos lehetőségek

Az 1. számú ábrára visszatekintve látható, hogy a zajterhelés kialakulásának és megítélésének, ezt követően a minősítésnek feltételei vannak. Elsősorban a zaj elleni védelmet jelentő minősítést vesszük figyelembe, amikor az emberi környezet —huzamos emberi tartózkodásra kijelölt területek és épületek— kap kiemelt figyelmet. A repülési zajra vonatkozó előírások megfogalmazása során elkövetett hiba lehet, amikor a védettséget olyan időszakokban és épületekre vonatkozóan is megköveteljük, amikor az adott építmény használata szünetel. Egymás mellett elhelyezkedő területek használati funkciója is eltérő lehet, amit szintén figyelembe kell venni.

Természetvédelmi területek, vagy természeti értékkel rendelkező övezet vonatkozásában már nehezebb a helyzet. Leszögezhetjük, hogy ebben az esetben is biztosítani kell a repülési zaj elleni védelmet, amitől eltekinteni nem is lehet bizonyos esetekben, pl. egy-egy élőhely, táplálkozóhely vagy madarak költési helye miatt. Azonban tapasztalatunk szerint a repülési zaj jellemzőinek figyelmen kívül hagyása ilyenkor is félrevezető lehet, mivel adott környezeti feltételek mellett a le- és felszállás, illetve az átrepülés nem okoz maradandó vagy visszafordíthatatlan károsodást a természeti értékben. Sajnos az együttes értékelés a legtöbb esetben elmarad.

A védendő területek szempontjából a repülési műveletekkel kapcsolatos zajvédelmi feladatok a következőkben foglalhatók össze:

— Műveletszám minél pontosabb meghatározása szükséges, ami már a létesítés időszakában segíti a várható zajterhelés megítélését;
— Alacsony műveletszám, vagy egy-egy átrepüléstől származó zajesemény a környezet alapállapotát nem befolyásolja jelentős mértékben, ilyenkor a környezet felkészítésével, pl. az ott élők tájékoztatásával lehet kezelni a zajhelyzetet;
— Gyakori műveletszám miatt megnövekedett zajterhelés, illetve az átrepülések miatti sűrű zajszint változás (8. ábra) várhatóan a zajhelyzet gyors romlását eredményezi, ezért vizsgálni kell az érintett terület kiterjedését, háttérterhelését, zajvédelmi szempontú érzékenységét a követelményértékek alapján;

— Repülőtér, illetve le- és felszállóhely folyamatos, napi igénybevétele megköveteli a repülési eljárások és az okozott zajterhelés összevetését, a repülési eljárások módosításának lehetőségét akár egy-egy repülési napon belül is. A repülési útvonalak áthelyezésével a zajterhelés időszakosan csökken a mentesített irányokban, vagyis csendes időszakok biztosításával lehet a zajhelyzetet kedvezően befolyásolni.

ÖSSZEFOGLALÁS

A légi közlekedés sajátos létesítmények működtetését követeli meg, a repülés önmagában is különleges az emberi tevékenységek sorában vagy a közlekedés rendszerében. A zajforrás jellemzőiből adódóan a környezetben okozott zaj kezelése is eltér más zajforrások —üzemek, közúti- és vasúti zaj— működésétől származó zajterhelés kezelésétől. Hagyományos műszaki létesítmények alkalmazása nem lehetséges, egyedüli megoldás a repülési zajjal érintett területek használatának szabályozása, valamint a repülésben és légi közlekedésben bevezetett zajvédelmi szempontú intézkedések alkalmazása.

A működési körülményeket —repülőtér, le- és felszállóhely elhelyezkedése, környezet jellemzői, repülési módozatok, napi repülési szám és annak megoszlása— figyelembe véve lehet meghatározni a repülés feltételeit, indokolt esetben korlátozását úgy, hogy a környezeti zajterhelés csökkentésével a repülési tevékenység ne váljon a zavaró kategória elemévé. Amennyiben a rendelkezésre álló adatok teljes körű felhasználásával sikerül megteremteni a repülés és a környezetvédelem érdekei közötti kompromisszumot, lehetőség nyílik a környezethasználó és a védelem alá vont terület közötti ellentét feloldására. A repülőszakemberek munkáját megnehezíti a zaj elleni védelem érvényesítése, de nem jelenthet megoldhatatlan feladatot. Ehhez alapinformációk már rendelkezésre állnak, a jövő kihívása, hogy milyen módon tudják tevékenységükben ezeket felhasználni, lehetőségeiket minél több zajvizsgálati adat felhasználásával bővíteni. Erre a kihívásra a repülőképzésben is fel kell készülni, a repüléssel leginkább összefüggő környezeti probléma, a zaj elleni védelem tárgykörben szükséges ismeretek átadását célszerűen segíteni kell, hiszen a környezeti zaj elleni védelem a repülőszakemberek számára sem maradhat ismeretlen terület.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] BERA József – DR. POKORÁDI László: A repülési zaj mérésének aktuális kérdései, Járművek, 47. évfolyam, 2000. 1-2. szám, o. 25-30.

[2] K. HIRAMATSU, T. MATSUI, A. ITO, T. MIYAKITA, Y. OSADA ÉS T. YAMAMOTO: The Okinawa study: an estimation of noise-induced hearing loss on the basis of the records of aircraft noise exposure around Kadena Air Base, Journal of Sound and Vibration 277, 2004., p. 617-625.

[3] BERA József: Helikopter leszállóhely zajvédelmi tervezése, Repüléstudományi Közlemények különszám, 2007. április 20., Szolnok.

[4] 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról.

Katalin Emese Bite

APPLYING GIS FOR TRACKING MOVING ELEMENTS AT AIRPORTS

1. INTRODUCTION

Today's airports are overcrowded and operate at peak capacity to be able to satisfy the ever-increasing demand. Most of the airlines and airports operate in a hub-and-spoke manner. Sometimes, transfer times are very short, it is just a question of luck if someone, along with his/her luggage, arrives at the final destination on time. Transfer time should optimally be at least one hour or more to make sure that the next flight can be reached in time and the baggage arrives as well. The allocation of the ground handling equipment must be very accurate to handle all the requirements for the on-time departure.

Queues are long, passengers don't have time to spend on the airport queuing, but security restrictions must be kept. Everyone would like to lower the high costs wherever it is possible. Quick and accurate service, reliability, efficient use of available resources, the highest possible reduction in environmental burden and automation play an important role in air transportation. However, the above must not impair security. Due to acts of terrorism, personal safety is of highest priority, but an accurate tracking and a more efficient organization in the control of other air services must not be omitted by the airport and its organizations either.

Another factor is the delay of flights, which may also be generated by passengers late at the boarding or even not appearing, or by a poor organization and management of ground support equipment and staff. Aircraft can only take off if all the checked-in baggage has its owner on board. If not, the baggage has to be offloaded.

Presently, there are many different tracking and IT recording solutions in use at the airports. Choosing RFID as the tracking technology I integrated these into a unified system, because Geographic Information System (GIS) is undergoing such a continuous development that it is now able to support indoor tracking in a cost-efficient way. Security rules have been continuously becoming stricter and stricter in the mass air transportation, which implies significant extra costs on airports, operators and airlines. Therefore, it is necessary to find solutions that meet security rules, while being able to render aircraft supply services in a sufficient quality and on time.

2. APPLICATION OF GIS IN AVIATION

There are several definitions for GIS, one of the most adequate is probably the definition by DoE (1987): "*a system for capturing, storing, checking, manipulating, analyzing and displaying data which are spatially referenced to Earth*"[1]. GIS is characterized by a great diversity of applications, it

can be applied almost everywhere. They can include physical, biological, cultural, demographic, or economic information; they are valuable tools in the natural, social, medical, and engineering sciences, as well as in business and planning. It is integrating systems which bring together ideas developed in many areas including the fields of agriculture, botany, computing, economics, mathematics, photogrammetry, cartography, surveying, zoology, geography, informatics, aeronautics, defence, military etc. GIS is also a decision support system and management information system.

GIS was first applied in aviation around 1980's to handle more easily the aeronautical information and the map from a central database. It was applied for the production of Navigation Charts, Route Manuals, Aeronautical Information Publications (AIP) [2]. Around the 1990 a Holland company developed a demonstration system to see how GIS (ArcInfo) can be used in a command & control room as an aid to a security and control organization. It could only be applied as part of a multimedia system with additional data like pictures, video and sound to add information to the decision maker [3].

Nowadays the airport infrastructure management uses geographical information system (GIS) extensively for tracking stationary objects (e.g. property). The air traffic control is using GIS with additional information (primary and secondary radar, GPS), for tracking airplanes, airport vehicles within the airport (airside and apron) if the required technology is available.

Nowadays mainly each airport has a Geographic Information System, applying for the land- and/or airside:

- Airspace Management
- Airfield Monitoring
- Flight Tracking (real-time)
- Aeronautical Information Management
- Facilities and Lease Management
- Airport Layout Planning
- Pavement and Asset Management
- Parking and Sign Management
- Utility and Facility Management
- Noise Monitoring and Modelling
- Environmental Assessment

Currently the management does not include tracking, passenger, luggage, crew and ground handling units, due to the lack of information and proper technical elaboration in the GIS.

3. GIS FOR TRACKING MOVING ELEMENTS

Stable and moving elements are identified by geographical coordinates in the GIS. Stable elements are very easy to identify: their geographical coordinates (latitude and longitude) are given in the system in relation to the Aerodrome Reference Point. The elevations of the airport and the highest point of the

landing area are given, and the Aerodrome Reference Point, the designated geographical location of an aerodrome, is determined. As the airport is a small and delimitated area, moving elements are shown by their identification numbers (ID), and their geographical coordinates are only displayed on specific maps, as it is obvious that they are moving between the airport's geographical coordinates.

3.1. Stable Elements in the GIS

The airport's stable elements (except for buildings) are only mapped by their 2D coordinates, as their altitude is not always important. To see their geographical coordinates and location at the airport, the 2D coordinates are enough. Buildings or objects with more than one floor are mapped by each floor separately. The height of buildings is important in order to separate their floors to trace the movements of people and items. The actual movements on the different floors are shown on different maps, one map for each floor. It is possible to change between the actual maps displayed, and zoom in and out. It is also possible to see only one thematic (e.g. runways, lavatories, shops, etc.) on the map by turning on and off layers. However, zooming into the map, the actual real video footage is displayed in the background too, so it is possible to see things in real-time the chosen area. To define the geographical coordinates in the GIS, a reference system is necessary [4]. An airport has its own reference system and reference point, for each airport individually.

3.2. Moving Elements in the GIS

Moving people and items within the airport are located by an identification and tracking technology, the RFID, and aircraft by SMR (Surface Movement *Radar).* On the map, always up-dated by the RFID signals and GIS, actual locations of moving elements are shown by their identification numbers (ID), and, in the background database, their geographical coordinates can be displayed too. There is no need to show geographical coordinates as first information, as the area of movements is an enclosed area. The information, i.e. the coded identification numbers (globally unique serial numbers generated by the tag producer) generated by the RFID tags used, appears on the screen as 2D points. By selecting the video view, the information appears in 3D. The coded identification numbers can be represented by just one character, depending on software pre-sets. It is easier to recognize to whom an RFID tag belongs. Obviously, if too many objects were put on the map, it would become chaotic and unreadable. In order to avoid this high object or information density, the system can set the process of generalization [5], and show only the requested type of moving elements. The system does not provide more information than the serial number, so the privacy rights can be kept. Further information is only given after the authorization steps.

The RFID signals are channelled into GIS through an interface system, which should be installed based on the requirements for handling processes business processes and security requirements. The interface is converting the RFID signals to able to be captured in the GIS *(see Fig. 1)*.

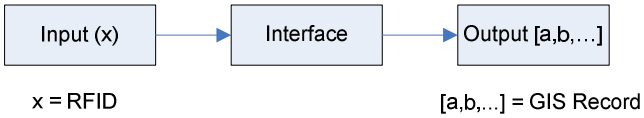


Figure 1: Interface transmitting RFID into GIS

(Source: Own Research)

The RFID signal (x) at the reading point after the channelling is opening the corresponding data (records) in the GIS ([a, b, …] are the data listed *below*. The gained information can be visualized in different ways in the GIS (e.g. maps, lists, diagrams, reports, tables, etc.) and in video format. Identification numbers are automatically shown on each map: the large airport map, e.g. just the map of the building, and the specific floor map. The user can choose which map he needs to pinpoint a location. On the map, the movements of each element are updated automatically. Depending on the tracing technology, in case of a point –to – point tracing, the position just jumps from one point to the other (passive RFID tag). In case of a continuous tracing, the movement flow will be drawn on the map (active RFID tag). Beside the identification number in the background table or by clicking with the mouse, specific information on people and items is shown on the map step by step. On the screen behind the map, the map's actual video is shown; the video cameras' recordings are integrated into the GIS. These two steps of opening the information and authorization requirements are necessary due to privacy issues.

Based on the analysis of information required for the traffic and operational management and monitoring of airports [6], the proposed data structure and content for an RFID enabled architecture with the required security allowance to the data is shown in for passengers below and for the other moving elements it can be elaborated in an analogue way.

<u>Departure and Transfer Passengers:</u>

RFID ID Number

ID tag reading

Flight Number
Boarding Time + Gate
Security and Border Control Information
Passenger's Location inside the airport

Special Authorization
(e. g. Flight Agent)

Pass. Name
Pass. Mobile Number
Pass.-Bagg. Reconciliation
Final Destination (if Transfer)

<u>Arrival Passengers:</u>

RFID ID Number

ID tag reading

Flight Number
Bagg. Belt Number
Security and Border Control Information
Passenger's Location in relation to its Bagg.

Special Authorization
(e. g. Flight Agent)

Pass. Name
Pass. Mobile Number
Pass.-Bagg. Reconciliation

In case of the following elements, the information on the screen for the authorized person is:

- ***Passengers (P)***: Passengers' RFID numbers or just P's for Passenger are shown on the map. By clicking on the ID or the letter code with the mouse the first information that comes up is:
    - Flight number
    - Boarding Time (on time or not) and Gate
    - Security and Immigration Information
    - Passenger's location in relation to his/her flight

  If the system or the employee spots any problem with the location of a passenger (e.g. he/she is late to his/her flight, etc.), the system (automatically) or employee (manually) sends a signal (e.g. sound, vibration) to that passenger's RFID tag to warn him/her not to be late at the gate. If the passenger is not reacting properly, the employee can ask for authorization from the flight agent or send a signal to the flight agent to inform the passenger by name. If the authorization is granted, the following information will appear in the table of the passenger:
    - Passenger's Name
    - Passenger's Mobile
    - Passenger's Checked-in Baggage data and Actual Baggage Location
    - Final Destination (in case of a Transfer Passenger)
- ***Baggage (B):*** By clicking on the ID number or just a B for Baggage it is shown automatically its:
    - Flight Number
    - Flight Time
    - Final Destination
    - If it has been already checked by the security
    - If it has been already sorted
    - Its actual location:
        - On the way to the aircraft
        - In the container or tug
        - Waiting position

  If it is not in the right position in relation to its flight number and data, the system (automatically) or the employee sends a signal to the handling agent with the above listed

information. If there is a problem, only the handling agent is authorized to receive the following information from the system:

- Baggage Owner's Actual Location
- Baggage Owner's Information (Transfer Passenger)

- ***Cargo (C):*** By clicking on the ID number or just a C for cargo shipment or mail it is shown automatically its:
  - Flight Number
  - Flight Time
  - Final Destination
  - If it has been already checked by the security
  - If it has been already sorted
  - Its actual location:
    - On the way to the aircraft
    - In the container or tug
    - Waiting position

  If it is not in the right position in relation to its flight number and data, the system (automatically) or the employee sends a signal to the handling agent with the above listed information. If there is a problem, only the handling agent is authorized to receive the following information from the system:
    - Shipping Documents Reconciliation
    - Sender and Consignee Personal Information
- ***Item (I)***: A good organization of the Ground Support Equipment is very important. The RFID ID or an I for Item appear. The employee can see the following information:
  - Current daily or periodic timetable of the item
  - Its Current Task and the Performance of it
  - Current Location
- ***Staff (S):*** The locations of employees are very important to know. The security officer or the task organizer can see the following information by clicking on the ID or an S for Staff of an employee :
  - Employee's Current Task
  - Employee's Location
  - Employee's Allowance to its actual Location

  If the system realizes that an employee's current location is within an area not authorized for that employee, the system sends an alarm and shows more information on it:
  - Employee's Name
  - Employee's Company Name
  - Employee's Field of Work
- ***Vehicles (V)***: The RFID ID's or V's are shown. All cars, buses, etc. entering or being active within the airport must be tracked with the following data:
  - Official Visitor's Car or Employee Car
  - Current Location and Task
- ***Aircraft (A):*** All aircraft on the ground are indicated. Aircraft ID numbers are provided by the

SMR. The following information is listed:

- Departure Time
- Parking Position
- Handling Situation: Done and still to do items
- Handling and Departure Time Relation

To obtain this information the RFID tag has to fulfil the minimal technical requirements. The minimal memory to store and manage the above information has to be able to handle a maximum of 10-15-20 data, each data has max. 20 records (characters), according to this the minimum memory needs to be 400 byte concerning that 1 character is 1byte. The nowadays memory of an RFID tag is varying between 8byte and 32kbyte[7], so there is possibility to use any special character with higher memory needs but then the tag is price is as well rising. The reading time to read the RFID tag is1-2 seconds, to transfer the information from the RFID reader into the GIS through an interface the minimal data transfer time of 1-3 seconds. The reading distance is depending on whether using a passive tag or an active tag. In case of a passive tag where special reading gates (points) are necessary the distance is depending on the height of the gate and in case of active tag the airport size of the active area has to be defined. The reading distance depending on the used RFID tag can vary from 10 cm up to more 100meters.

The passenger and handling process does not change, but the way the passengers and their baggage are identified and tracked changes with the RFID/GIS integration compared to the nowadays applied technologies. With this system the alerting and problem solving is automated and fast. On the figure below are shown *(see Fig. 2)* all the RFID activation-de-activation points, reading points and their information. Before the RFID at the boarding de-activates itself, passenger and baggage will reconsiliated. If the boarding passenger's luggage is already in the airplane's compartment or not or where it's actual location is. It is important that baggage only with its passenger can be loaded to the take off. In case of lost baggage delivery this is not possible, but this information is stored on the RFID tag of the baggage, so no false alarms can be sent out. The RFID tags will only be de-activated if both are on the plane or on the last check point. If the luggage is on the airplane but its passenger not, the alarm will be sent out to the flight coordinator at the boarding gate. In the RFID/GIS system the information is shown immediately and in case of any problem the database opens itself after the security allowance steps taken *(see above)*, no extra communication is necessary to be taken.

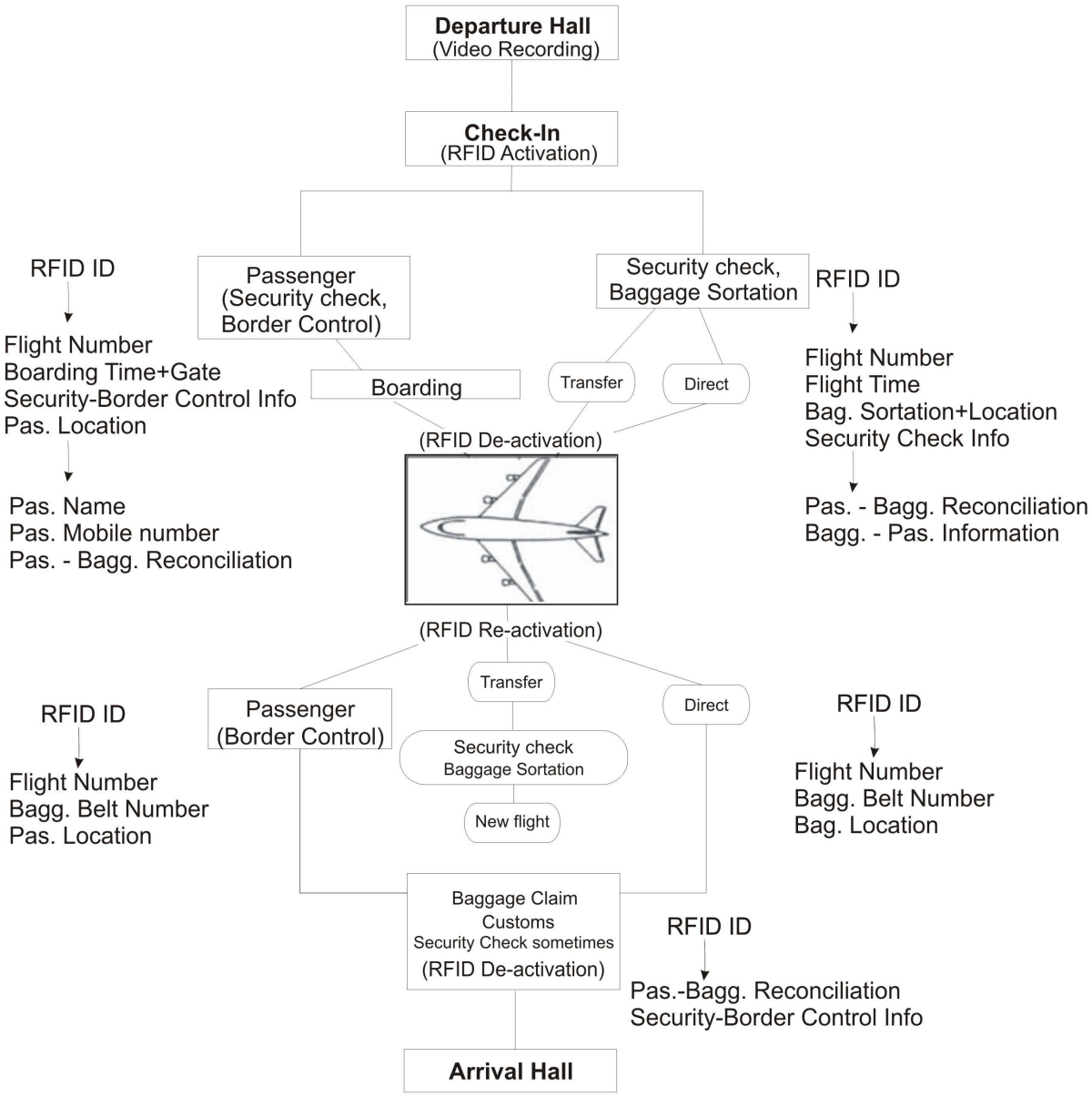


Figure 2: Passenger and Baggage GIS Data Checkpoints
(Source: Own Research)

The below figure *(Fig. 3.)* shows the RFID activation – de-activation points and the necessary combined security information required at any type of access point for people working at the airport. The allowance and task type of information *(see above)* will be monitored at those points as well. The non-public entering points are covering all those areas that need special permit for accessing and is not open for passengers and visitors, etc., within the people working at the airport are many special restrictions for accessing the airport areas, these will checked here too. The computer-based workstation covers the computer, PC, PDA, etc. and all software that need special allowance to be accessed.

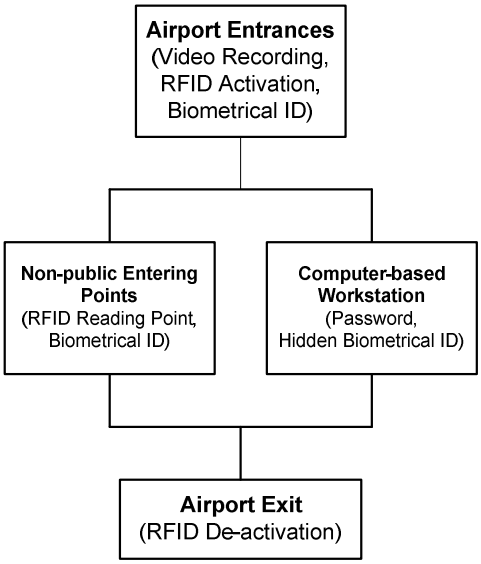


Figure 3: RFID/GIS Data Checks at Access Points for Staff
(Source: Own Research)

Analogously, it possible to identify, monitor, manage the staff, cargo and mail, the ground handling equipment alerting in case of process errors or abnormal activities (e.g. entering restricted areas without authorization). It enables to send new information for the staff and ground handling equipment, to overwrite their actual processes and tasks. The better staff and GSE allocation is possible in a real-time format and up-dating their business is any time possible. The only difference is that in case of passengers and their luggage other type of information is necessary to be on the RFID then for staff, GSE equipment. The cargo and mail handling requires very similar information as the passenger and baggage handling, the difference is their location within the airport, the document requires, etc. The necessary information on the RFID tag is listed above for each person and item separately. The cargo and mail handling is analogue with the passenger-baggage handling, the staff's operative management and controlling is analogue with the GSE. Only the required and stored information for the effective handling, alerting and operative management is different.

3.3. Integration into the Local Information System

The above listed information is necessary for security, for traffic and operational management, business processes. All this information is shown in the GIS. On the main screen, ID numbers are displayed and after taking the steps, the information will be shown in the database. Each specific area of the airport can see restricted information from the database. Only information that needs to be known by a particular area is allowed to see in that area. Each specific area has its own called GIS (as listed) within the large Airport GIS and all of them can be integrated together into the airport information system used nowadays (e.g. AODB, FIDS).

Security-GIS

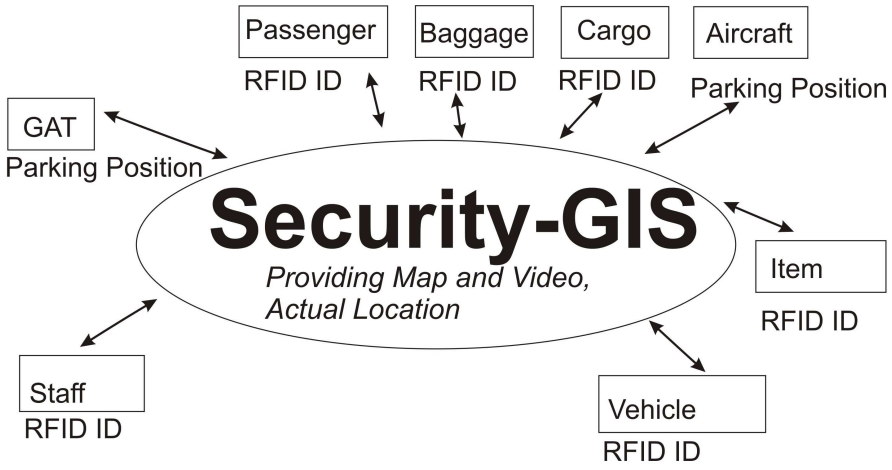


Figure 4: Security-GIS
(Source: Own Research)

The security personnel always receive information on the location of the elements shown above. The GIS provides a map and information on the current locations of the RFID ID numbers or the letter codes or currently chosen thematic. On the screen, it is shown with the CCTV's actual footage.

In any case, if there is any kind of problem, the GIS have to recognize it automatically and inform the authorized personnel.

In case of late passenger, the system first automatically alarms the passenger's RFID tag and if there is no reaction of the passenger, the system alarms the security personal and authorized personal (e.g. the flight agent to that specific flight).

In any case, the history of a tracked person or item is stored and it is available for the authorized personnel to monitor it. The history can be displayed by movement tracking or shown in table form, at which time where it was and data of its actual task. The history is stored for 30 days.

Employees can request to see the data of a given flight only from the system, or just see a passenger's location of a current flight, or see all moving elements on the screen. But each handling agent's specific monitor (for each flight, one handling agent is responsible) can only see information necessary for that particular flight. Making special requests is possible.

Ground Handling – GIS

For the GH companies, it is necessary to know the latest information on the locations of their elements and the current stage of their current activities. This GIS for the GH, as shown below, always shows current task information and location. It shows the time left until finishing an activity. The GH items' locations are displayed on the map, so it is easy to find.

Locations of passengers and baggage are as important to avoid delays as they are for the security to detect any suspicious activities. Flight delays cost the airlines a lot of money and problems, depending on the kicked timetable in case of missing a slot. Knowing the information shown below, each employee of the GH company has access to the displayed information on his/her PDA used in his/her work. He/she is not allowed to see any personal information. The personal data are only available for the flight agent by a special allowance and only if there is no other possibility.

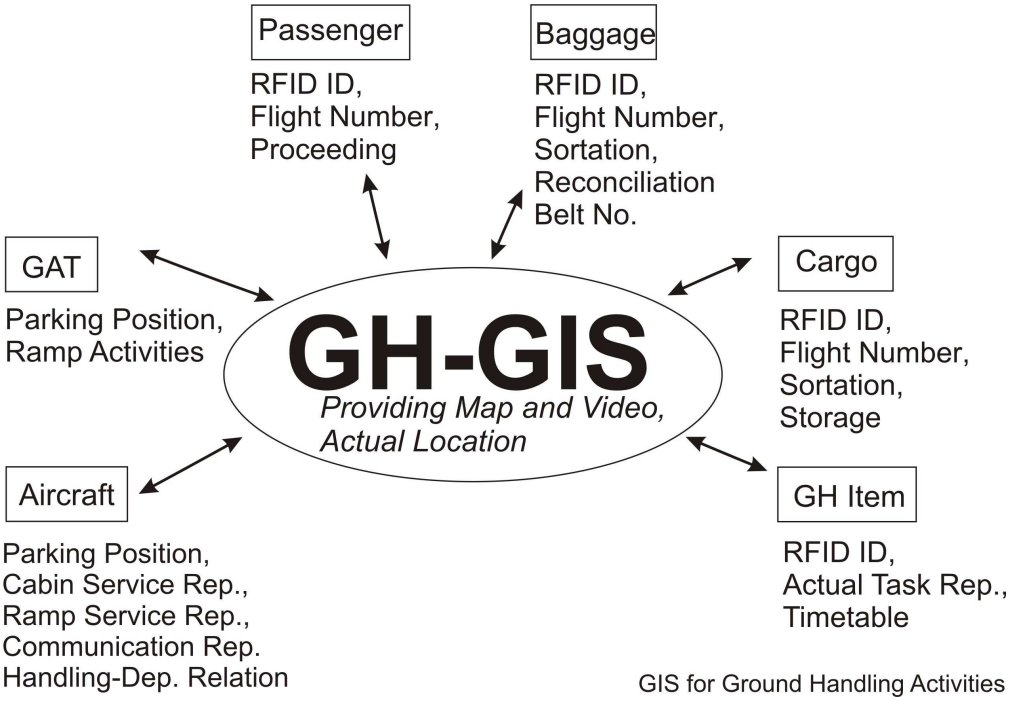


Figure 5: GIS for Ground Handling Activities
(Source: Own Research)

General Aviation is also served by a GH company if requested. As its passengers and baggage are handled differently and by their own, further information is useless for the software. Border Control information and security screening information is available.

After analyzing the airport operational and business processes I extended the use of RFID technology that was originally proposed for passenger and luggage tracking to include other processes with similar characteristics such as the cargo and mail handling and the tracking of GSE. There is no difference principle in tracking view of point, the only difference is the information stored on the tag.

Airport – GIS

The GIS above described and displayed is one piece of software. Its different users (e.g. GH, Security) are authorized to see different information as for their work, different information is necessary.

The GH – GIS does not exchange information with the Security – GIS. The two units are integrated into the large Airport – GIS. For the airport, it is necessary to know where their employees,

vehicles are and what their current tasks and shifts are, so they appear as different units. Also, the Border Control is exchanging information with the large Airport-GIS.

The GH-GIS sends the quantitative data information to the Airport – GIS (this is already the case now) for facility allocation. The new information sent to the Airport – GIS would be the current location, the current task report and a map, which is necessary for planning (especially in case of delays).

The Security – GIS exchanges information related to the security screening and the behaviour of any moving element.

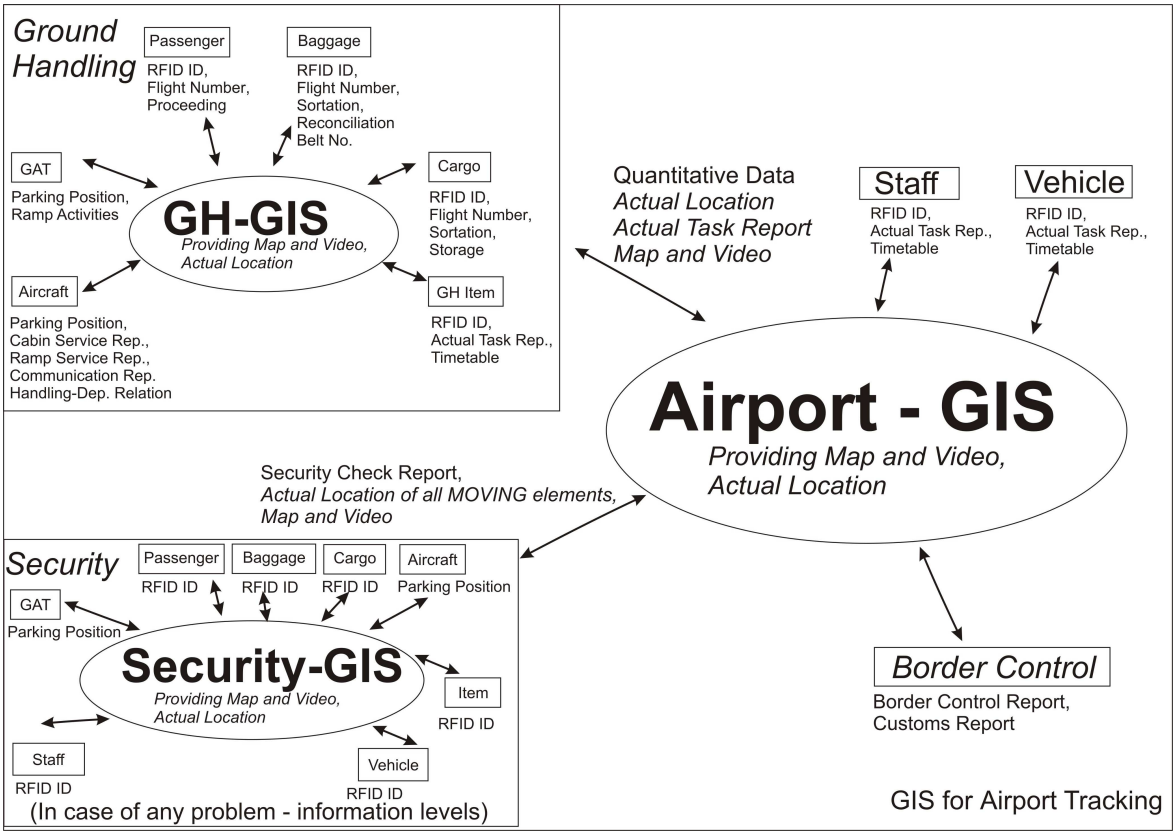


Figure 6: Airport-GIS
(Source: Own Research)

Airport-GIS Integrated into the AODB currently used

AODB is the database used presently to see the future and the past. It is an Airport Operational Database, collecting all necessary information of all airport facility users and minimizing the redundancy of information sent. It does not just deal with the information for preparing a flight's arrival (e.g. usable Check-In counters, Gate, aircraft parking position) it also makes the billing for an aircraft, and the shifts of the airport's employees. The Airport GIS can be implemented into the AODB and send the same information supplemented with current location information if queried. Previously, quantitative data were sent only to know facility attributes and allocation. With the Airport GIS, the allocation already knows how much time the previous task will take or if it is already finished, sends an automatic current task report if requested and shows everything on maps, image processing is

available as well. The integration into the local airport information system enables to monitor, track, allocate and have all airport moving elements in one integrated system. The used GIS system needs to be able to handle many data and to have all-time a back-up system.

For airports not using AODB it can be integrated into any airport operational information system (e.g. FIDS, etc.).

The Airport GIS can be also send flight arrival/departure information to the requested places (e.g. internet, Taxi stand, Public Transport connecting the airport with the city centre or other cities, etc.)

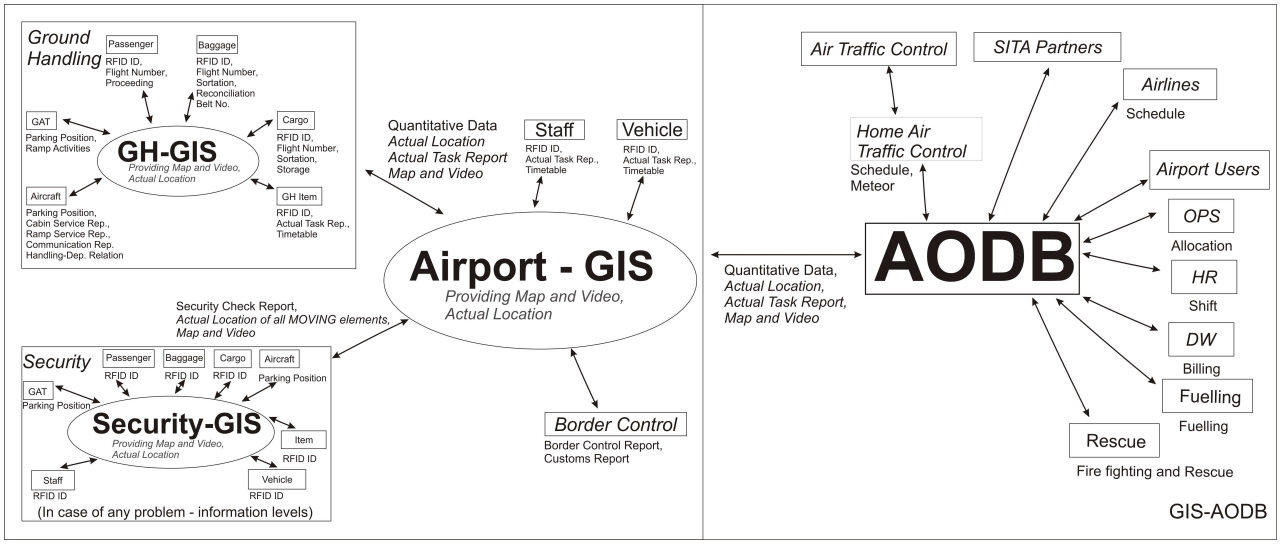


Figure 7: Airport- GIS-AODB
(Source: Own Research)

4. BENEFITS OF THE RFID/GIS

The RFID integrated into GIS can help reduce the costs of airlines and improve the airport's efficiency and capacity while improving the security.

The investment of such a system is worth it in many areas such as:

- Less delays caused by ground handling activities
- Reduction of Passenger Handling and Baggage Handling time and achieving a higher efficiency (while reducing turn-around times)
- Decreasing baggage loss expenses
- Faster location of employees, passengers, ground support equipment, etc.
- Reducing time of some operational procedures (time requirements in minutes can be reduced to seconds)
- Less prone to human errors
- Faster and more accurate information flow
- Automated maps, image processing, reports and querying any statistical data
- Protection against terrorism
- Re-allocation of functionalities/resources and human resources

- Less problems with documents (e.g. reduced paperwork, reduced possibility of document loss)
- Environmental friendly (e.g. paperless)
- Improving Customer Service
- Improving reputation
- Real-time and non-real-time tracking of all airport moving elements
- The integration of all data required for an efficient airport operation management in one system

All the above-mentioned advantages result in a reduction of costs and time requirements and enable the re-allocation of current resources and expenses for better efficiency.

5. CONCLUSION

The primer goal of GIS is to identify the geographic coordinates and attributes of stationary objects. RFID integrated into GIS and the technologies in common enables to identify moving elements within a closed area in- and outdoors, while serving the improvements of airport capacity and airport operations.

GIS is the best system to integrate all airport stable and moving elements into one system and to identify their actual location and tasks report, and gives a solution to all the above described problems in one common system. For identification and tracking of the moving elements and for the automation of terminal operations, the best current technology is RFID. GIS enables also to integrate video recordings. The monitoring of moving elements can be in real-time too.

REFERENCES

[1] MAGUIRE, D. J; GOODCHILD M. F, D. W. & RHIND, D. W (EDS.): Geographical Information Systems Vol. 1., Vol. 2., Longman, ISBN 0-470-21789-8 (ISBN 0582-05661-6), New York, 1991

[2] Grootenboer M. (1992). Aeronautical Data Bases in Airlines and Aviation Boards,Proceedings of EGIS'91 (2nd European Conference of Geographica Information Systems), pp. 369-377, ISBN 90-73414-05-9, Brussels, April, 1991, EGIS Foundation, Utrecht

[3] Eijk, H. & Holmuller, F.J. (1992). GIS as a Base for a Security and Control System, Proceedings of EGIS'92 (3rd European Conference andExhibition on Geographical Information Systems), pp. 1559-1560,

[4] Detrekői, Á. & Szabó, Gy. (2003). Térinformatika, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., ISBN 963 19 4116 7, Budapest

[5] Elek, I. a. (2007). Automatic generalization of maps by digital filtering. Scientific Proceedings. of Riga Technical University in series " Geomatics " Vol., No., (2007) p. 64-68, ISSN 1691-4341

[6] Bite, K. a. (2008). Minimizing the Baggage Loss at Airports. Periodica Polytechnica, Transportation Engineering, Vol. 32, No. 1-2, (September, 2008), pp. 29-32, ISSN 0303-7800

[7] RFID Journal b. (2010). RFID Glossary, Memory terms. http://www.rfidjournal.com/glossary/368 (Accessed 8 April 2010)

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Bolyós Ferenc

SZEMELVÉNYEK A „MiG”-REPÜLŐGÉPCSALÁD 70 ÉVES TÖRTÉNETÉBŐL

Az 1930-as évek végére nyilvánvalóvá vált, hogy a szovjet légierő részére olyan új vadászrepülőgépek szükségesek, amelyek legalább 600 km/h sebességgel repülnek, hatékony tűzerővel rendelkeznek, és harcászati-technikai képességeik tekintetében nem maradnak el a hasonló kategóriába tartozó nyugati típusok teljesítményétől. Az idő sürgetett, az események gyorsan követték egymást, mivel Európában háború kezdődött, és a szovjet-finn fegyveres konfliktus is rámutatott arra, hogy az ország repülőgépparkját meg kell újítani.

AZ A.I. MIKOJANRÓL ELNEVEZETT TERVEZŐIRODA

Ezekkel összefüggésben, 1939. december 08.-án lett aláírva – a szovjet repülőipar népbiztosának beleegyezésével – P.A. Voronyin, a cég igazgatója által az a parancs, amely a moszkvai „Aviahim” nevet viselő №1 repülőgépgyártó üzemben egy újabb különleges tervezőosztály létrehozásáról rendelkezett, az I-200 típusjelölésű magassági vadászgép tervei és gyártása elkészítésének céljából.

Megalakulás és kezdetek

A parancs aláírását megelőzően, még 1939. novemberében a №1 üzemben döntés-előkészítő bizottságot hoztak létre a következő év sériagyártásának meghatározása érdekében. A bizottság tagjai a Jakovlev tervezőiroda I-26 (a későbbi Jak-1) típusú gépének tervezete mellett egy másik típus bevezetését is szükségesnek tartották és javasolták.

Így, az ugyancsak a №1 üzem területén működő Polikarpov tervezőiroda AM-37, a korábbiaknál nagyobb teljesítményű motorral felszerelt I-200 kísérleti vadászgépére terelődött a figyelem, amely az előzetes számítások és elképzelések alapján jobb magassági adatokkal és repülési tulajdonságokkal rendelkezik, mint az I-26. Ennek a gépnek a maximális repülési sebességét 670 km/h-ban határozták meg, szemben az I-26-tal, amelynél ez az adat csupán 580 km/h körül alakult. Mindezeket figyelembe véve, gyorsan megszületett az a döntés, hogy az I-200 vadászgép tervezésével kapcsolatos munkákat a lehető legrövidebb idő alatt be kell fejezni. Ezért a tervezői csoport tagjai, köztük Gurjeviccsel, már 1939. november 25.-én megkezdték a feladat végrehajtását.

Természetesen azonnal adódott az a kérdéssel is, ki irányítsa az új gép gyártásával kapcsolatos munkákat? A cég igazgatója kiadta az utasítást, hogy ebben a vonatkozásban beszéljenek Mikojannal,

aki ha nem is azonnal, de figyelembe véve a kialakult helyzetet és sürgető körülményeket, elfogadta a kinevezését, helyettesei pedig M.I. Gurjevics és V.A. Romogyin lettek.

Az események akkor rohamléptekkel követték egymást. Ugyancsak 1939. december 08.-ra az I-200 vadászgép vázlatterve már készen is volt, és fel lett terjesztve elbírálásra a repülőipar népbiztosához, valamint a légierő vezetéséhez. A tervrajz alapján elkészített makettet december 25.-én tekintették meg és hagyták jóvá, másnap a szakemberek már hozzá is láttak a munkarajzok kidolgozásához, a gyártás megkezdéséhez. Így az I-200 új vadászgép prototípusának első kísérleti példánya 1940. március 31.-én már el is hagyta a szerelőműhelyt, és április 05.-én A.N. Jekatov berepülő pilóta levegőbe emelkedhetett vele. Ilyen feszített munkaütemben és körülmények között, a tényleges tervrajzok elkészítésének megkezdésétől a repülőgép első felszállásáig, csupán 100 nap telt el!

Egy hónap múlva, 1940. májusában az I-200-t a moszkvai №1 repülőgépgyártó üzemben már sériagyártásba vették, ahol az év végéig ebből a típusból 125 db repülőgépet terveztek legyártani. 1940. szeptember 12.-ig a kísérleti példányok hatósági vizsgálatai is eredményesen befejeződtek. A következő napon a szovjet légierő tudományos kutató intézete műszaki tanácsának értekezletén a berepülő főpilóta, Sz. Szuprun értékelve az új géppel végrehajtott kísérletek és próbák eredményeit, úgy nyilatkozott, hogy az I-200 „a hatósági vizsgálatokra eddig legjobban előkészített repülőgép". A jegyzőkönyvben azt is rögzítették, hogy „az AM-35A motorral felszerelt I-200, amelyet Mikojan és Gurjevics terveztek, valamint a №1 üzemben gyártottak le, a maga 628 km/h-s repülési sebességével a szovjet kísérleti repülőgépek közül a legjobbnak tűnik, és a hasonló kategóriába tartozó külföldi gépekkel összehasonlítva, 5000 m magasság fölötti képességeivel nem marad el azoktól". 1940. december 09.-én a repülőipar népbiztosának előterjesztése alapján kormányrendeletben az I-200 vadászgépnek a MiG-1, továbbfejlesztett változatának pedig a MiG-3 típusjelölést adományozták, a két tervezőmérnök családnevének kezdőbetűi alapján.

A MiG-3 repülőgépek gyártása 1941-ben folyamatosan bővült, és a Szovjetunió megtámadását megelőző időszakban a naponta legyártott vadászgépek száma elérte a 25 db-ot. A Nagy Honvédő háború kezdetére a csapatoknál már több MiG-1 és MiG-3 volt szolgálatban, mint együtt véve az összes „Jak"-okat és „LaGG"-okat. Többségében a „MiG"-eket a nyugati határvidék katonai körzeteiben állomásozó vadászrepülő-ezredekhez vezényelték. Már a Szovjetunió megtámadásának első óráiban bevetették őket, és felvették a harcot a Luftwaffe gépeivel. A MiG-3 típus képezte ugyancsak az alapját a szovjet honi légvédelem 6. repülőhadtest gépparkjának is, amely Moszkva légterét védelmezte.

Annak ellenére, hogy Moszkvához közeledett a front, 1941. októberéig, a №1 üzem és a Mikoján tervezőiroda evakuálásáig, folytatták a repülőgépek további fejlesztésével és gyártásával kapcsolatos munkákat. Ezek közé tartozott például a DISz-200, a kettő darab AM-37 motorral felszerelt távolsági kísérő vadász terve, valamint a MiG-3-ból továbbfejlesztett és M-82 motorral felszerelt MiG-9 kidolgozása is. A veszélyeztetettség miatt, az üzem Kujbisevbe lett áttelepítve. Az új környezetben a Mikojan tervezőiroda fő feladatát a MiG-3 repülőgépek további gyártásának megszervezése jelentette.

Ekkor viszont érkezett Sztálin nevezetes utasítása arról, hogy a №1 üzemben is le kell állítani a vadászok gyártását, és bővíteni kell az Il-2 csatagépek kibocsátását. Ebből eredően az üzem az új települési helyén csupán 22 db MiG-3-t tudott legyártani. Ennek ellenére, a №1 üzemben összességében a MiG-1 és MiG-3 vadászokból 3242 db készült el azokban a kritikus időkben.

OKB-155

Amikor a német csapatokat a főváros alól visszaszorították, ott azonnal megkezdődött a repülőgépipar helyreállítása is. 1942. március 13.-tól a №1 üzem kutató-tervező osztálya és kísérleti szerelőműhelye – Mikojan és Gurjevics vezetése alatt – az Állami Védelmi Bizottság határozatának megfelelően, visszatért Moszkvába. A moszkvai №480 üzem területén, ahová 1942. márciusában és áprilisában a kutató-tervező osztályt visszaköltöztették, létre hozták a №155 üzemet, ahol Mikojant nevezték ki igazgatónak és főkonstruktőrnek. A kutató-tervező osztály pedig hamarosan megkapta az OKB-155 (155. sz. Kutató-tervező Iroda) elnevezést. Ugyancsak a №155 üzem területén megalakították a №30 javító bázist is, a MiG-3 vadászok ipari javításának elvégzése céljából.

A Mikojan tervezőiroda tevékenysége új települési helyén 1942. májusában kezdődött. A rendelkezésre álló szellemi és anyagi erőforrások a MiG-3 vadászgép korszerűsítésére, valamint ennek bázisán egy jobb repülési-műszaki jellemzőkkel rendelkező vadászrepülőgép létrehozására irányultak. Ennek eredményeként a Nagy Honvédő háború időszakában megépültek a „MiG" vadászgépek továbbfejlesztett változatai: az I-230 az AM-35A, az I-231 az AM-39 és az I-211 – M-82F motorral szerelve. Kidolgozásra kerültek továbbá, és kísérleti repüléseket hajtottak végre az előbbieknél jobb repülési tulajdonságokkal és erősebb fegyverzettel rendelkező repülőgépekkel is, mint az I-220 és I-225 vadászok, az I-221, I-222 és I-224 magassági vadászok, valamint a DISz-200 távolsági kísérő vadász, M-82 motorokkal ellátva. Mindezen feladatok elvégzése mellett, az 1942–1943 években a kísérleti műhely erőivel és eszközeivel még legyártottak szériában 30 db MiG-3 repülőgépet is.

A sugárhajtás korszakának kezdete

A II. világháború végefelé azonban már látszott, hogy a dugattyús motorból és az általa megforgatott légcsavarból álló erőgép-rendszer, saját lehetőségeinek határához ért, amely elkerülhetetlenné tette egy elveiben újabb típusú hajtóművek létrehozását a repülőgépek számára. Ezzel összefüggésben, 1944. május 22.-én a szovjet Állami Védelmi Bizottság kiadta határozatát a sugárhajtású hajtóművek fejlesztésének szükségességéről. Mivel abban az időben a Szovjetunió nem rendelkezett saját tervezésű működőképes sugárhajtóművel, ezért a Mikojan és Gurjevics által tervezett I-250 új kísérleti repülőgép kombinált sugárhajtóművel jelent meg, amelynek a kompresszorát egy VK-107A dugattyús motor forgatta meg. Az ilyen típusú hajtóművel ellátott repülőgép először 1945 márciusában szállt fel. Az I-250 825 km/h repülési sebesség elérésére volt képes, melyet a moszkvai №381 üzemben, kis szériában gyártottak.

Természetesen a kombinált hajtómű alkalmazása csak szükségszerű és rövid idejű volt, mivel egyértelművé vált, hogy a jövő repülőgépei számára a gázturbinás hajtóművek jelentik a megoldást. Ennek ellenére a sugárhajtású hajtóművek felhasználása lehetőségeivel kapcsolatos körülmények a Szovjetunióban csupán a háború vége felé kezdtek javulni, amikor megérkeztek az országba a hadizsákmányként szerzett német gázturbinás hajtóművek. Ezek műszaki vizsgálata és üzemeltetési tapasztalata jelentős mértékben felgyorsította a szovjet sugárhajtású repülés megteremtését. Ezt támasztja alá, hogy 1946. április 24.-én A. Grincsuk berepülő pilóta a két gázturbinás hajtóművel ellátott I-300 szovjet vadászgéppel először a levegőbe emelkedhetett. Ennek a gépnek a szériaváltozata, amikor a szovjet légierőnél rendszeresítették, a MiG-9 típusjelölést kapta. Ebből a típusból Kujbisevben a №1 üzem szerelőcsarnokait 604 db hagyta el. A Mikoján tervezőirodánál a MiG-9 kidolgozásával egy időben egy folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművel ellátott elfogó vadász (I-270) tervein is dolgoztak. Azonban a vele végrehajtott kísérleti repülések, nem igazolták a rakétahajtás előnyét a gázturbinás hajtóművekkel szemben.

1946 végén a Szovjetunióból egy küldöttség érkezett Angliába, amelynek tagjai között A.I. Mikojan és V.Ja. Klimov (hajtóműmérnök) is ott volt. Az utazás azzal az eredménnyel zárult, hogy a szovjeteknek sikerült Angliától kettő darab eléggé korszerű, „Rolls-Royce" gyártmányú gázturbinás hajtóművet vásárolni, melyek a szovjet szakirodalomban az RD-500 és RD-45 típusjelölést kapták. Ezeket az újabb szovjet sugárhajtású repülőgépek terveinek kidolgozásánál használták fel. Ennek is köszönhető, hogy a Mikojan és Gurjevics által vezetett tervezőirodában megszületett egy legendává vált nyilazott szárnyú és hermetikus fülkével ellátott vadászgép, a MiG-15, amelyet a Szovjetunió kilenc üzemében (13131 db), valamint még Lengyelországban és Csehszlovákiában (4181 db) tömegesen gyártottak. A MiG-15 és a MiG-15bisz Korea egén esett át a tűzkeresztségen. Ezen a hadszíntéren különösen a „bisz" változat vívott ki magának elismerést, és tette az 1950-es évek elején világhírűvé a Mikojan tervezőirodát. A magyar vadászrepülő csapatoknál a MiG-15 típusból 124 db, a MiG-15bisz változatból 104 db, az oktató-gyakorló MiG-15UTI-ból pedig 49 db, tehát összesen 277 db lett ebből a típuscsaládból hadrendbe állítva.

A MiG-15bisz további korszerűsítésének eredményeként született meg a MiG-17, egy nagyobb felületű és nyilazású szárnnyal. Ezt a típust a Szovjetunió öt üzemében (8045 db), valamint még Lengyelországban, Csehszlovákiában és Kínában is (3061db) gyártották. A MiG-17F és MiG-17PF repülőgépek részt vettek a légi harcokban Vietnamban és a Közel-Keleten is.

Túl a hanghatáron

1951.-ben a MiG-17 bázisán épült meg az I-340 kísérleti repülőgép, amely kettő darab AM-5 hajtóművel volt ellátva, és a kezdeti lépéseket jelentette az első szovjet szuperszonikus vadászgép, a MiG-19 megteremtése útján. Az I-360, továbbfejlesztett kísérleti változat az AM-9, forszázzsal rendelkező erősebb hajtóműveket kapta, amely lehetővé tette a gép repülési jellemzőinek lényeges javulását. Ezzel a géppel G. Szedov berepülő pilóta már a berepülések első szakaszában, 1400 km/h

sebességet elérve, átlépte a hanghatárt. 1954 kezdetén ezt a változatot MiG-19 típusjelöléssel sériagyártásba bocsátották. A MiG-19 különböző változataiból a Szovjetunió két üzemében összesen 1890 db-ot gyártottak. Ezeken kívül, gyártási licenc alapján Csehszlovákiában és Kínában még további 4600 db-ot készítettek el.

Mikojan és Gurjevics következő hangsebesség feletti repülőgépe, az 1950-es évek közepéről származik, ez a MiG-21 típus volt. Ez a gép deltaszárnyú könnyű frontvadász, amelyet félszáz ország légierejénél rendszeresítettek, sőt több ország esetében még napjainkban is szolgálatban tartják. Az alaptípus létrejötténél alkalmazott kedvező tervezői és műszaki megoldásoknak köszönhetően, lehetőség adódott számos típusváltozat kidolgozására is. Következésképpen a MiG-21 vadászgépek sériagyártása három évtizeden keresztül folytatódott a Szovjetunió három üzemében, ahol összesen 10710 db készült el. Ezeken kívül Indiában, Kínában és Csehszlovákiában még további 3850 db ilyen típusú repülőgépet gyártottak. A MiG-21 vadászok számos fegyveres konfliktusban részt vettek, és a világon az egyik legismertebb katonai repülőgépekké váltak. A magyar vadászrepülő-ezredeknél ennek a típusnak különböző változataiból mintegy 300 db lett szolgálatba állítva. Ezzel a típussal 1965–1977 között 24 világrekordot állítottak fel.

Pilóta nélkül

Az OKB-155 tervezőirodánál még 1947-ben, a vadászgépek tervezése mellett – a «B» témakör szerint – szárnyas rakéták kidolgozásával is foglalkoztak. Az ezekkel kapcsolatos tervezői munkák irányítását M.I. Gurjevicsre bízták. 1953. áprilisa és decembere között, ennek a tevékenységnek megnövekedett igénye miatt a munkálatokat, az ugyancsak Moszkvában települő №51 üzem területén is végezték. Követve ezt a módszert, a továbbiakban úgy az OKB-155 alapbázisán, mint a Moszkva alatti Dubnában, a №256 üzem területén is folytatták, ahol a repülőipar minisztériumának utasítására 1953. október 31-től megalakították az OKB-155 leányintézetét, melynek vezetőjévé A. Bereznyjakot nevezték ki. Ebben a szervezeti formában a «B» témakör feladatainak végrehajtása egészen az 1960-as évek közepéig folytatódott. Ekkor az OKB-155 leányintézetét átszervezték önálló tevékenység elvégzésére. Napjainkban ez a vállalat „Raduga” Állami Gépgyártó-tervező Irodaként ismert.

Gurjevics és Bereznyjak vezetése alatt a fentnevezett cégnél olyan szárnyas rakétákat hoztak létre, mint a KSz, a K-10, a H-20, a KSzR-2, a H-22, a KSzR-5 és még mások. A szárnyas rakéták kísérleti kutatása céljából az OKB-155-nél olyan átalakított változatok is készültek, amelyek az eredetihez hasonló képességekkel rendelkeztek, de pilótavezette légi járművek voltak.

Túl a hőhatáron

A nagy magasságú és sebességű elfogó vadászok sajátosságaival kapcsolatos kutatásokat a Mikojan tervezőirodánál már az 1950-es évek végén megkezdték, amikor az „Uragan” program keretében megtervezték az I-3U, az I-7U, az I-75F. az E-150, az E-152 és még más kísérleti gépeket, valamint a „L-L” osztályú K-9 irányítható rakétát. Ezek közül az E-150 már képes volt a 3000 km/h-t elérni,

azonban tartósan ezzel a sebességgel nem tudott repülni. A kezdeti eredmények alapján az OKB-155-nél 1961.-ben kezdték meg a 20.000 m magasságban 3000 km/h sebességgel repülni képes repülőgép elveinek tényleges kidolgozását, melyet a szovjet kormány 1962. február 05.-i határozatában jóváhagyott. Ezt követően készítették el az E-155 terveit elfogó vadász és felderítő változatokban, amelyek később a MiG-25 típusjelölést kapták. Ekkor olyan légi járműre volt szükség, amely alkalmas, különösen a nagy sebességgel repülő légi célok bármilyen fajtájának az elfogására, valamint kivételes magassági és sebességi tulajdonságainak köszönhetően, felderítő tevékenységet is folytathat. Tehát olyan repülőgépet kellett megépíteni, amely a hőhatárnak ellenáll, és huzamos időn keresztül képes a hangsebesség feletti repülésre. A követelmények teljesítésével összefüggésben, a MiG-25 típusú repülőgépek tervezői megtalálták azokra a problémákra is a megoldást, amelyek a huzamos időn keresztül történő 3M körüli repülési sebességekkel voltak összefüggésben. Az ebbe a kategóriába tartozó repülőgépeknek a szerkezeti kialakításában szükségszerűen széles körben alkalmazásra kerültek a nemesacélból és más hőálló ötvözetekből készült alkatrészek.

A Szovjet légierőnél a MiG-25P elfogó vadászt és a MiG-25RB felderítő repülőgépet 1972-ben állították hadrendbe. Ennek a típusnak a sériagyártása a Szovjetunióban csaknem két évtizeden keresztül tartott, mely idő alatt a MiG-25 repülőgépekből összesen 1106 db készült el, és hét ország légierejénél teljesítettek szolgálatot. Annak köszönhetően, hogy a MiG-25 típus a sebességi és magassági jellemzőinek tekintetében nagyon egyedi képességekkel rendelkezett, 1965–1978 között 38, köztük 3 abszolút sebességi, magassági és emelkedési világrekordot állított fel. Ezek egy részét még mind a mai napig nem tudták megdönteni!

Változtatható szárnygeometria

A Mikojan tervezőiroda elnevezését 1966-tól „Zenit” Moszkvai Gépgyártó Üzemre változtatták, amely ez idő alatt már egy más irányú kutatást is folytatott, nevezetesen megkezdték a MiG-21 repülőgépek után következő frontvadászok újabb generációjának a kidolgozását. A velük szemben támasztott követelmények közé tartozott, hogy képesek legyenek nagy sebességgel és nagy távolságra repülni, valamint állomásoztathatók legyenek korlátozott hosszúságú felszálló pályával rendelkező repülőtereken is. A repülőgépet el kellett látni a fegyverzet perspektivikus irányító rendszerével, biztosítani kellett a szabad légtérben a légi célok bármilyen irányból történő megközelítését, elfogását még a földfelszín hátterében is, közepes hatósugarú „L-L” osztályú rakétákkal. A közel-légi harc megvívásához pedig rendelkeznie kellett rövid hatósugarú „L-L” rakétákkal, valamint fedélzeti gépágyúval. A terv elkészítésének programja a MiG-23 típusjelölést kapta, és 1967.-ben láttak hozzá a megvalósításához. Az első szovjet változtatható szárnyállású vadászgép szárnykonzoljainak nyilazási szöge 16° – 72° között volt változtatható. Az együléses MiG-23 repülőgépek sériagyártása csaknem két évtizeden keresztül a moszkvai „Znamja Truda” üzemben folyt, ezzel párhuzamosan az irkutszki üzemben a MiG-23UB oktató-gyakorló vadászok készültek.

Az 1960-as évek közepe táján, a MiG-23-sok korszerűsítésével azonos időben megkezdték a szovjet frontlégierő számára a szerkezetileg hasonló felépítésű vadászbombázó létrehozását, MiG-23B típusjelöléssel, amely a további módosítások során MiG-27-ként vált ismertté. Ezt a típust Irkutszkban és Ulan-Udeben gyártották. A variaszárnyú MiG-23 különböző vadászváltozataiból összesen 5266 db készült, és csaknem 900 db a MiG-27 vadászbombázó családba tartozókból, beleszámítva azt a 165 db-ot is, amelyeket licenc alapján Indiában gyártottak.

Kényszerű váltás

Mikojan halálát követően, 1971-ben a „Zenit" Moszkvai Gépgyártó Üzem felvette volt vezetőjének a nevét, melyet hivatalosan 1978-tól fogadtak el. A tervezőiroda főkonstruktőrévé pedig R.A. Beljakovot nevezték ki. Az ő vezetése alatt folytatták a MiG-23 típus további változatainak a kidolgozását, valamint megkezdték két újabb típus, a MiG-31 elfogó vadász és a negyedik generációs frontvadász MiG-29 repülőgépek tervezését.

Mindezeken kívül, a Mikojan tervezőirodánál még 1965.-ben elkezdődtek a kutatások a „Szpiral" fedőnevű témakörben is, egy pilóta vezette kísérleti orbitális repülőgép (EPOSz) létrehozásával kapcsolatban. Ennek a témakörnek a vezetőjévé G.J. Lozino-Lozinszkijt nevezték ki, aki a későbbiekben a „Molnija" Tudományos-termelő Társaságot is irányította, ahol a nevezetes „Buran" űrsikló kidolgozásával foglalkoztak. A kísérletek első szakasza feladatainak megvalósítása érdekében megépítették a «105-11» gyártmányként regisztrált analóg orbitális repülőgépet, amely összesen nyolc kísérleti repülést hajtott végre az 1977–1978 években oly módon, hogy Tu-95K hordozó repülőgépről ledobták, és a gép a feladatot követően egy speciálisan előkészített kifutópályára szállt le.

Negyedik generáció

A MiG-31 (E-155MP) elfogó vadász létrehozásával kapcsolatos tervezői munkákat a szovjet kormány 1968. május 24.-én hozott rendeletében foglalt célok megvalósítása érdekében végezték. A perspektivikus elfogó vadászrepülőgép felé olyan elvárások és követelmények lettek megfogalmazva, amelyek előírták: legyen képes egyszerű és bonyolult időjárási viszonyok között az ellenséges légi célok széles körének megsemmisítésére nagy és kis repülési magasságokon a földfelszín hátterében még akkor is, ha azok manővereznek, illetve aktív ellentevékenységet folytatnak. A fejlesztés során lehetőség nyílt az új gép harcászati képességeinek további szélesítésére annak köszönhetően, hogy időközben a V.V. Tihimirovról elnevezett tudományos-kutató intézetben kidolgozták a fázisvezérelt antennával ellátott fedélzeti lokátorállomást, nevezetesen a „Zaszlon"-t.

A MiG-31 szerkezeti kialakítása és felépítése tekintetében a MiG-25-re hasonlít, azonban kétszemélyes változat, egy pilótával és egy megfigyelő-operátorral. A szovjet vadászok vonatkozásában első ízben építettek nagy tolóerejű kétáramú hajtóműveket a repülőgépekbe, amelyek biztosítják az M=2,83 sebességgel történő nagy távolságú repülést is. Az E-155MP prototípusával első alkalommal 1975. szeptember 16.-án emelkedett a levegőbe a tervezőiroda főpilótája, A. Fedotov. A

MiG-31 elfogó vadászok sériagyártását Gorkijban (Nyizsnyij Novgorodban) 1979-ben kezdték el, és hadrendbe két év múlva állították a szovjet honi légvédelem repülőcsapatainál. Napjainkban a MiG-31 az orosz és a kazah légierőnél van szolgálatban.

A negyedik generációs MiG-29, könnyű frontvadász repülőgép kidolgozásával kapcsolatos tevékenységet a szovjet kormány 1974. június 26.-án hozott rendelete alapján végezték. Ennek a géptípusnak a szovjet légierőnél fel kellett váltania a MiG-21 és MiG-23 vadászrepülőgépeket olyan feltételekkel, hogy múlják felül az időközben hadrendbe állított amerikai és nyugat-európai vadászok légi harcban mutatott képességeit. A MiG-29 elméleti tervezése már 1970-ben megkezdődött, és alapvető sajátosságai közé tartozott a repülőgép egységes szerkezetbe vont aerodinamikai kialakítása, aminek köszönhetően a gép törzse is hordozó részegységgé válik, ahol a teljes felhajtóerőnek akár a 40%-a is termelődhet. Úgyszintén számba vették kettő darab RD-33, fejlesztés alatt álló kétáramú hajtómű beépítését, a fegyverzet korszerű irányítórendszerét, valamint az újabb irányítható rakéták alkalmazását.

A MiG-29 első felszállására 1977. október 06.-án került sor. A gépet A. Fedotov berepülő pilóta vezette. A kísérleti és berepülési program végrehajtása után, 1982-ben a repülőgépet sériagyártásba bocsátották a Moszkvai Repülőgépgyártó Társaságnál (MAPO), és 1987-ben rendszeresítették a szovjet légierőnél. Ettől kezdve a MiG-29 típuscsaládba tartozó vadászrepülőgépeket széles körben exportra is gyártották az RSzK «MiG» cégnél. Mostanáig a MiG-29 típus különböző változataiból összesen több mint 1400 db-ot gyártottak le a moszkvai és a nyizsnyij-novgorodi üzemekben, amelyek a világ 26 országa légierejénél teljesítettek vagy még mindig teljesítenek szolgálatot.

Azok a nehéz 90-es évek

Az akkori idők változásait nem egyszerű követni, és ebben meghatározott szerepet játszott az is, hogy 1991. végén a Szovjetunió megszűnt. Az 1990-es évek elejétől a Mikojan tervezőirodát és a hozzá tartozó repülőgépgyártó üzemet többször átszervezték, míg végül 1999. végén az RSzK «MiG» nevet kapta, mint Orosz Repülőgépgyártó Holding társaság. A «MiG» életében ez jelentette a legnehezebb időszakot. Az orosz gazdaság a padlóra került, szétesett a gazdasági együttműködés a gyártó társüzemek között, az orosz védelmi minisztérium – forráshiány miatt – szüneteltette a MiG-29 és MiG-31 vadászok további fejlesztésének támogatását, új gépek beszerzését, mely körülmények a Mikojan tervezőirodát és termelő üzemét szélsőségesen nehéz helyzetbe juttatták. Ahhoz, hogy a kapukat még ne kelljen bezárni, ugyan a legalapvetőbb pénzügyi feltételek biztosítva voltak, mivel ha hazai megrendelésre nem is, de exportra még gyártottak korlátozott számban MiG-29 vadászrepülőgépeket néhány ország számára.

A kilátástalan helyzet javítása érdekében a «MiG» a repülőgéppiacon új helyet akart keresni, ezért a tervezőiroda megpróbálkozott azzal is, hogy a polgári repülés felé nyit. Egy egész sor új programba kezdett, és alakított ki tervezői elképzeléseket. Azonban ezek közül egyetlen egy sem jutott el a magvalósulás határáig ugyanúgy, mint a széles körben reklámozott közepes hatósugarú Tu-334 utasszállító repülőgép sem, a VPK «MAPO» (RSzK «MiG») gyártásában.

Ezeknek az éveknek a kudarcai viszont a túlélés reflexét is beindították. A Mikojan OKB még inkább mozgósítja tervezői kapacitását Oroszország védelmi minisztériuma, valamint a más országbeli feltételezett potenciális vásárlók érdeklődési körébe tartozó újabb témák iránt. Ennek egyik kiinduló pontja a szovjet kormány 1981. június 05.-én hozott rendelete volt, mely alapján hozzáláttak a Mikojan tervezőirodánál annak a teljes kutatási programnak a kidolgozásához és végrehajtásához, amely egy ötödik generációs vadászrepülőgép létrehozása előkészítésével volt összefüggésben. Az előzetes kutatások értékelése alapján 1985-ben megkezdték a többfeladatú vadászrepülőgép (MFI) és a könnyű frontvadász (LFI) műszaki elképzeléseinek összeállítását. Az ez alapján megvalósított MFI «1-44» prototípusát az ANPK «MiG» kísérleti üzemében 1994-ben szerelték össze. Ugyanez év decemberében pedig R. Taszkajev berepülő pilóta végrehajtotta vele az első sebességi gurulást is, amelyet egy hosszú szünet követett. Az «1-44» (MiG-39) első felszállására 2000. február 29.-én került sor, melyet a tervezőiroda új berepülő főpilótája, V. Gorbunov végzett el. Azonban az új típusú géppel a berepülési program csupán két felszállásig jutott, mivel a megrendelő, az orosz védelmi minisztérium időközben (15 év eltelte után) módosított az ötödik generációs vadászrepülőgépekkel szemben támasztott harcászati-műszaki követelményeken, melyekhez ennek a gépnek a képességei már nem voltak elegendőek. Ezért a megkezdett program további folytatását célszerűtlennek nyilvánították.

Ebben az időszakban a Mikojan tervezőiroda számára másik fontos kutatási témakör, egy perspektivikus sugárhajtású oktató-gyakorló repülőgépnek, a MiG-AT-nek (az orosz „Alpha Jet”-nek) a létrehozása volt. Ennek a tervnek a kidolgozása szintén jóval korábban, még az 1990-es évek elején kezdődött, és első, a gyakorlatban is megvalósuló példáját jelentette annak a nemzetközi együttműködésnek a repülőiparban, amelyet a Mikojan tervezőiroda a külföldi partnereivel megvalósított. A MiG-AT prototípusába 2 db francia gyártmányú „Larzac 04” hajtóművet építettek be, és a fedélzeti rádióelektronikai berendezések szintén francia gyártmányúak voltak. Ezzel a géppel az első felszállást R. Taszkajev berepülő pilóta 1996. március 16.-án hajtotta végre. Három év elteltével ennek a kísérleti típusnak a második példánya már egy darab orosz gyártmányú RD-1700 hajtóművel és ugyancsak orosz fedélzeti avionikával volt ellátva. A pozitív eredménnyel zárult kísérleti repüléseket követően a «MAPO»-nál a MiG-AT sériagyártásához készülődtek, azonban ebből sem lett semmi, mivel az orosz légierő egy másik tervváltozatot részesített előnyben, amelyet a Jakovlev tervezőiroda terjesztett elő. Jelenleg a MiG-AT mindkét legyártott prototípusa, mint kísérleti repülőgépek, az indiai légierő szolgálatában vannak.

A MiG-21-esek modernizált változatának, a MiG-21-93-nak prototípusa korszerű „Kopje” fedélzeti rádiólokátor-állomást, új műszerezettséget és fegyverzetet kapott, mellyel az első felszállást 1995. május 25.-én hajtották végre. A megrendelő kívánságainak megfelelően ennek a típusnak a további korszerűsítési programja az indiai légierő részére 1998-ban kezdődött, amelyhez Oroszország is szállított részegységeket, berendezéseket. Hasonló korszerűsítési programok kezdeményezését India felé a Mikojan tervezőiroda a MiG-23 repülőgépek vonatkozásában is megtette.

Az említett időszak nehéz körülményei ellenére, a Mikojan tervezőirodánál folytatták a XXI. század első évtizedében induló programok előkészítését, melyek közé az orosz légierő, illetve a külföldi megrendelők elvárásai szerint a MiG-29 és MiG-31 vadászok korszerűsítése is tartozott.

Az RSzK «MiG» napjainkban

Az elmúlt évtizedben az RSzK «MiG» számára az egyik legfontosabb eredmény az volt, hogy a „mélyrepülés" után a társaság kezdett megerősödni egy összevont szakmai háttérnek köszönhetően, ahol a «MiG» repülőgépek tervezése és gyártása egységes szervezethez tartozik. Ennek tagjai napjainkban: az «OKB Mikojan» Műszaki Központ, amelyet már tizedik éve V. Barkovszkij vezet; a Termelési Központ (ez magában foglalja a Luhovicü-ben levő №1 és a Moszkvában található №2 gyártóüzemeket, valamint a kaljazinszki gépgyárat); továbbá az A. Fedotov berepülő pilótáról elnevezett Repülési-kísérleti Központ, amelyet jelenleg a tervezőiroda főpilótája P. Vlaszov vezet.

2009. januárjától az RSzK «MiG» vezetői munkakörét M. Pogoszjan látja el, aki egyben az «OAO Szuhoj» társaságnak is vezérigazgatója. Pogoszjan több vezető pozícióba való kinevezése összefügg azzal a törekvéssel, hogy szervezeti átalakításokkal megreformálják az orosz repülőgépgyártást, és végül a „Szuhoj", valamint a nyizsnyij-novgorodi „Szokol" cégek bevonásával egy egységes üzletpolitika magját teremtsék meg «*ОАК – Боевые самолеты*» („Egyesült Repülőgépgyártó Holding – Harci repülőgépek") megnevezés alatt. Az ilyen irányú összevonásokat az orosz kormány részéről is támogatják. Napjainkban az RSzK «MiG» és a „Szuhoj" társaság erőforrásainak az összevonásával arra törekednek, hogy megsokszorozzák mindazokat a képességeket, amire a mostani szakembereket az elődök megtanították.

Az utóbbi évek viszonylatában, illetve a közeljövőben az RSzK «MiG» alapvető tevékenysége a MiG-29 és MiG-31 típuscsaládok repülőgépeinek (MiG-29SzM, MiG-29SzMT, MiG-29K/KUB, MiG-35, MiG-31BM) további korszerűsítésére, a megrendelők igényei szerint, azok gyártására irányul. Közreműködnek továbbá pilótavezette és pilótanélküli harci repülőgépek újabb nemzedékének kidolgozásában.

Mindezek mellett a 2008–2009 évek említést érdemlő eseményei közé tartozott, a csapatoknál szolgálatban levő MiG-29 típusú repülőgépek ipari javításának és korszerűsítési munkálatainak elvégzése, amely azt jelentette, hogy az orosz légierő, mint „megrendelő", több mint 15 év után visszatért a hadiipar piacára. Ennek köszönhetően 2008-ban az orosz repülőcsapatoknál megjelentek az első korszerűsített MiG-31BM elfogó vadászrepülőgépek, 2009-ben pedig a MiG-29SzMT-ék. A Mikojan tervezőirodánál dolgoznak az orosz védelmi minisztérium azon igényén is, hogy Oroszország haditengerészeti légiereje számára új MiG-29K/KUB többfeladatú anyahajó-fedélzeti, a légierő számára pedig, szintén többfeladatú MiG-35Sz «4++» generációs repülőgépeket gyártsanak.

További kilátások

2010. március 01.-én Vlagyimir Putyin orosz kormányfő látogatást tett a „Szuhoj” repülőgépgyárban abból az alkalomból, hogy a cég «5» generációs legújabb perspektivikus repülőgépe, a T-50 prototípusával végrehajtották az első felszállást. A kormányfői látogatásnak nemcsak látszólagos üzenete volt, hanem a hadiipar kérdéseiről ott tartott értekezleten, Putyin a nyilvánosság előtt vázolta a fejlesztést érintő kilátásokat, mely szerint az orosz légierőnél tíz éven belül 1500 új repülőgépet és helikoptert, továbbá mintegy 200 rakétakomplexumot állítanak hadrendbe. Ennek megvalósítása esetén a légierő gépeinek 80, a légvédelem rakétakomplexumainak 75 százaléka fog megfelelni a korszerű követelményeknek. Az orosz haditechnikai export 51 százalékát repülőgépek, további 9 százalékát a légelhárítás fegyverei teszik ki. A miniszterelnök kijelentette, hozzá kell látni egy új, nagy hatósugarú, hadászati bombázó kifejlesztéséhez is.

Eredmények összefoglalása

A Mikojan tervezőiroda 70 éves tevékenységének rövid összegzését[1] megvonva, ki kell emelni, hogy ezen időszak alatt több mint 400 különböző rendeltetésű légi jármű típustervét, illetve módosított változatát készítették el a vadászgépek és a szárnyas rakéták kategóriájában. Hazai szovjet-orosz sériagyártásban a «MiG» típusú repülőgépekből eddig mintegy 47.000 db készült el. A külföldön gyártott «MiG»-ek darabszámát is figyelembe véve, ez a mennyiség meghaladja a 62.000 példányt. «MiG» repülőgépekkel napjainkig összesen mintegy 80 sebességi, magassági és emelkedési világrekordot állítottak fel.

A repülőgépek tervezésében, fejlesztésében és gyártásában kifejtett elvitathatatlan érdemeiért a Mikojan tervezőiroda 3 állami kitüntetéssel rendelkezik: Lenin érdemrend (1957. június 12.), Októberi Forradalomért érdemrend (1975. április 03.) és a Munka Vörös Zászlórendje (1982. február 02.).

NÉHÁNYAN A «MiG»-EK TERVEZŐI KÖZÜL

Mikojan Artyom Ivanovics (1905. 08. 05. – 1970. 12. 09.)

Anusavan /később Artyom/ Ivanovics Mikojan az örményországi Aleverdszkoje kormányzóság, Szanain nevű kis hegyi falujában született, harmadik gyerekként. Az I. világháború idején családja Tbiliszibe költözött a török invázió elől, és a középiskolát már itt járta ki. Ez idő alatt egy kényszerleszállást végző Farman biplán látványa keltette fel a repülés iránti érdeklődést, az akkor 13 éves Mikojánban. Tizennyolc évesen a Don melletti Rosztovba ment, ahol esztergályosnak tanult a Krasznüj Akszaj mezőgazdasági gépgyárban. Innen 1925. novemberében a moszkvai Dinamo gyárba vitte a sorsa,

ahol rövidesen többszörösen kitüntetett, kiváló esztergályosként dolgozott. Ekkoriban cserélte fel az Anusan utónevet Artyomra. 1928.-ban sorkatonai szolgálatra hívták be a gyalogsághoz, majd 1929. augusztusában az oreli Frunze tiszti iskolára vezényelték. Miután a Vörös Hadseregben letöltötte a tényleges katonai szolgálatot, a moszkvai Kompresszorgyárban dolgozott tovább esztergályosként. Ott hamarosan a gyár párttitkára lett, ahol felettesei a következő évben felvételre ajánlották – későbbi nevén – a Zsukovszkij Katonai Repülőmérnöki Akadémiára.

Az akadémián tanulmányait kitűnő eredménnyel fejezte be, ahol egyúttal az ejtőernyős és a pilótavizsgát is letette. Diplomamunkája, és egyben első repülőgépe Mikojánnak a toló-légcsavaros egyfedelű kis „Oktyjabrjonok" volt, amelyet 1936.-ban a harkovi repülési központban épített meg, az évfolyamtársaiból szerveződött csoport közreműködésével. Az akadémia befejezését követően Moszkvában, az „Aviahim" nevű №1 repülőgépgyártó üzemben, 1937–1938 között először katonai elöljáróként, mint az átvevő csoport vezetője, majd a Polikarpov tervezőiroda vadászgépeinek sériagyártását végző műhely osztályvezetőjeként dolgozott.

Amikor 1939.-ben egy nagyobb sebességű vadászgép létrehozására kaptak utasítást, a №1 üzem igazgatója és főmérnöke úgy döntött, hogy ennek a feladatnak a végrehajtására a Polikarpov tervezőiroda KB-1 és KB-2 alosztályaiból (mindkettő vadászgépekre szakosodott) a legjobb tervezőket választják ki, többek között M. Gurjevicset, aki korábban Polikarpov mellett dolgozott, az AM-35A motorral felszerelt I-200 kísérleti magassági vadászgép tervein. Ebből a célból 1939. december 08.-án létre is hozták az új kísérleti tervező osztályt, – valójában az új tervezőirodát. Ennek vezetőjévé az üzem fiatal repülőmérnökét, Artyom Mikojant (Sztálin mozgalmi emberei egyikének, Anasztasz Mikojannak az édestestvérét) nevezték ki.

1940.-ben Mikojan vezetése alatt, együtt működve Gurjeviccsel, dolgozták ki az I-200 módosított változatát, a MiG-3 vadászgépet. Ugyanebben az évben Mikojant a №1. üzem főkonstruktőrének is kinevezték. 1942.-től Mikojan nemcsak az újonnan megalakított kísérleti üzem főkonstruktőre, hanem annak igazgatója is lett. Az 1941–45 közötti háborús években Mikoján vezetése alatt a magas fokú repülési és műszaki jellemzőkkel rendelkező vadászgépek egész sorát hozták létre, közéjük számítva az I-250 kísérleti vadászt is, kombinált sugárhajtóművel.

Mikojan a Szovjetunióban a sugárhajtású repülés egyik úttörője volt. A II. világháború után a nagysebességű, majd a szuperszonikus frontvadász-repülőgépek tervezésével, megalkotásával foglalkozott, amelyek közül több típus jelentős darabszámban lett legyártva, és hosszú ideig voltak a szovjet légierő szolgálatában. Ezek közé tartoztak a MiG-9, a MiG-15, a MiG-17, amellyel már elérték a hangsebességet, majd következett a MiG-19 (az első szériában gyártott szovjet szuperszonikus vadászgép), a MiG-21 (vékonyprofilú delta-szárnnyal, melynek a repülési sebessége meghaladta a hangsebesség kétszeresét). 1956-tól Mikojant az üzem általános főkonstruktőrévé nevezték ki. Az ő irányítása alatt létrehozott utolsó repülőgépek közé tartozik a variaszárnyú MiG-23 vadászgép és a MiG-25 elfogó vadász, a 3M-et meghaladó repülési sebességgel.

A.I. Mikoján repülőgép-tervező 1953. október 23.-tól a szovjet Tudományos Akadémia levelező, majd 1968. novemberétől rendes tagja, a mérnök-műszaki szolgálat vezérezredese (1967), a Szocialista Munka Hőse cím kétszeres kitüntetettje (1956, 1957). 1970. december 9.-én orvosi műtéti beavatkozás közben halt meg Moszkvában.

Gurjevics Mihail Ioszifovics (1893. 01. 12. – 1976. 11. 25.)

Mihail Gurjevics a kurszki kormányzóság Rubanscsina nevű falujában született. Tíz éves korától Gurjevics az ahtürszkiji fiúgimnáziumban tanult, amelyet ezüstérem kitüntetéssel fejezett be, majd a harkovi egyetem gépészeti tanszékén folytatta tanulmányait. Azonban egy év múlva kizárták onnan, mivel a fennálló hatalom elleni politikai megmozdulásokban aktívan részt vett. Ezért Gurjevics külföldre ment, és Franciaországban, Montpellier városa egyetemének matematika fakultásán tanult tovább. Az év végi szünetben 1914 nyarát szülőföldjén töltötte, ahonnan az I. világháború kitörése miatt már nem tudott visszautazni Franciaországba. Az ebből eredő kényszerszünet miatt egyetemi tanulmányai megszakadtak, és alkalmi munkákból tartja fenn magát: műszaki rajzokat készít, plakátokat rajzol és magánórákat ad. Számára csak 1917-ben vált lehetővé ismét, hogy Harkovban az egyetemet folytassa, melyet a polgárháború miatt még többször kénytelen volt megszakítani. A harkovi egyetemen Ny.J. Zsukovszkijtól hallgatott előadások a repülésről, amelyek mély benyomást tettek rá. A repüléshez való vonzódása következtében, mérnöki diplomáját a harkovi egyetem repülőgép-építési tanszékén szerezte meg 1925-ben, amelynek témája, „Utasszállító Repülőgép” volt.

Az egyetemi tanulmányok befejezését követően a 33 éves Gurjevics előbb Harkovban tervezőmérnökként volt alkalmazásban, majd 1929-ben Moszkvába költözött. Ott a Szovjetunióba meghívott ismert francia mérnök, Paul Richard tervezőirodájánál helyezkedik el, amelyet a szovjet kormány az első hazai hidroplán-repülőgépek terveinek kidolgozásával bízott meg. Mivel szabadon beszélte az angol, német, francia, olasz és latin nyelveket, Richardnál Gurjevics francia nyelven tette le a „felvételi vizsgát”, kitűnő osztályzattal. Itteni munkaköréhez tartozott, hogy részt vett torpedóhordozó és más nehéz repülőcsónakok megalkotásában. Ennek köszönhetően Gurjevics kellő jártasságot szerez a repülőgépek tervezésében.

1931-ben P. Richard visszatért Franciaországba. Munkásságát összegezve, ő a szovjet repülés történetében csak fantasztának, jelentéktelen epizódnak számított. Viszont javára legyen írva, hogy egy nagyon eredményes tervezői kollektívát hozott össze, melybe többek között Sz.P. Koroljov, N.I. Kamov, M.I. Gurjevics és G.M. Berijev is beletartozott. A Richard tervezőiroda megszűnését követően, Gurjevics átmegy a szovjet repülőipar központi tervező irodájához ahol, mint kiváló

tervezőmérnök, hamar felhívja magára a figyelmet. Itt fejezi be első önálló munkáját, a TS-3 csatarepülőgép tervét, amelyben újszerű eredeti műszaki megoldásokat is alkalmaz.

1937.-ben Gurjevics bekerül abba a delegációba, amelyet az USA-ba küldenek, a DC-3 szállító repülőgép gyártásával való megismerkedés és elsajátítás tanulmányozása céljából, mivel ennek a gépnek gyártási licencét a Szovjetunió megvásárolta (LI-2). Amerikából történő hazatérését követően, 1938-ban Gurjevics Polikarpov tervezőirodájánál folytatta a tervezői munkát, ahol az I-15, I-16, a „Csajka" és más olyan repülőgépeket terveztek, amelyek a szovjet légierőnél hadrendbe lettek állítva. Ennél a tervezőirodánál Gurjevics rövid időn belül az „agyközpont"-nak számító, tervvázlatot készítő csoport élére kerül. Ugyanitt megismerkedik az I-153 gépek korszerűsítésével foglalkozó A.I. Mikojannal is, akivel előbb jó munkakapcsolat, majd ebből eredően baráti viszony alakul ki, aminek köszönhetően együtt kezdtek hozzá egy nagyobb sebességű, egyfedelű vadászgép terveinek a kidolgozásához.

A II. világháború kitörését közvetlenül megelőző időszakban, a Szovjetunióban egy sor repülőgép-tervező irodát nyitottak meg. Ezek közé tartozott az 1939-ben Mikojan vezetése alatt létre hozott tervezőiroda is, ahol Gurjevicset az irodavezető helyettesévé nevezték ki. Ennek a tervezőirodának köszönhetően készült el, és szállt fel 1940. április 05.-én a vadászgépek új nemzedékének első példánya, a MiG-1, majd azt követően a tovább fejlesztett MiG-3. A tervezőirodából kikerülő repülőgépek típusjelölése, kettőjük nevéből származik. 1940–1957 között Gurjevics a Mikojan tervezőiroda főkonstruktőr-helyettese, majd 1957-től 1964-ig főkonstruktőre volt.

Gurjevics és Mikojan a II. világháború befejezését követően együtt készítette el a szovjet sugárhajtású vadász-repülőgépek terveinek egész sorát, melyek közé a MiG-9 (1945), a MiG-15 (1947), a MiG-17 (1949), valamint a szuperszonikusok közül a MiG-19 (1955) és a MiG-21 (1958) tartoztak. 1947-től Gurjevics vezette a szovjet szárnyas rakéták tervezésével és gyártásának előkészítésével kapcsolatos munkálatokat is. Mindezeken kívül, a repülőgépek személyzete számára vészhelyzetekben a túlélést biztosító katapultülések tervezésében is meghatározó szerepet játszott.

A továbbiakban még részt vett az I-320, az E-150 és a MiG-25 időjárástól független távolsági elfogó vadászgépek tervezésében is. A MiG-25R nagy magasságú és nagy sebességű távolsági felderítő gép, valamint a MiG-25P elfogó vadász voltak azok a repülőgépek, amelyeknek tervezésében és gyártásának előkészítésében Gurjevics még közvetlenül részt vett. Ugyancsak az ő nevéhez fűződik több olyan, addig nem alkalmazott eredeti műszaki megoldás a repülőgépek gyártásának technológiájában, amelyek még a MiG-29 és a MiG-31 típusoknál is bevezetésre kerültek azt követően, hogy 1964-ben, az egészségi állapotában beállt kedvezőtlen változás miatt kénytelen volt nyugállományba vonulni.

M.I. Gurjevics, mint kiváló repülőgép-tervező, a műszaki tudományok doktora, többször megkapta az állami (1941, 1947, 1948, 1949, 1953) és a Lenin (1962) díjakat is, valamint 1957-ben a Szocialista Munka Hőse címet. 1976. novemberében, Leningrádban halt meg.

Beljakov Rosztyiszlav Apoloszovics (1919. 03. 04.)

Beljakov a gorkiji terület Muruma nevű városában született. A Moszkvai Repülőmérnöki Egyetem (MAI) elvégzése után, 1941.-től a Mikoján tervezőirodánál tervezőmérnökként dolgozott. Rövid időn belül a légi járművek kormány-rendszerének, valamint a leszálló berendezések neves specialistája lett. Aktív tevékenységet folytatott a MiG-3, MiG-9, MiG-15, MiG-17, MiG-19, MiG-21 és azok korszerűsített változatainak, továbbá egy sor kísérleti repülőgép, valamint szárnyas rakéta megtervezésében. 1962.-től az általános főkonstruktőr első helyettese, majd Mikojan halálát követően több mint 25 éven keresztül, 1971–1997 között a tervezőiroda általános főkonstruktőre.

Azok közé tartozott, akik tevőlegesen részt vettek még a MiG-21, MiG-23, MiG-25 vadászok és fedélzeti rendszereik közvetlen tervezésében, akik ezt követően közvetlenül irányították a repülőgépek építését, berepülését és szabályzási munkálatait. Vezetése alatt hozták létre a MiG-27 vadászbombázó, a MiG-29 frontvadász és a MiG-31 nehéz elfogó vadász több altípusát, valamint a hozzájuk tartozó fegyverrendszereket. A MiG-29 bázisán dolgozták ki 1986.-ban a MiG-29M többfeladatú, valamint 1988.-ban a MiG-29K anyahajó-fedélzeti változatokat. 1992.-ben mutatták be a MiG-31M-t, amely képes 280 km távolságról megsemmisíteni az ellenséges légi célokat. Annak ellenére, hogy az orosz gazdasági válság a tervezőirodák munkáját másodlagossá tette, 1995.-ben még megjelentek a korábbiaknál többszörösen hatékonyabb MiG-29SzMT többfeladatú vadászgéppel, majd 1996.-ban a MiG-29UBT harci oktató-gyakorló repülőgéppel. 1999.-ben, 80 éves korában megkapta a «MiG» tiszteletbeli általános főkonstruktőre címet. R.A. Beljakov mint repülőgép-tervező mérnök tagja volt a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának, a Szocialista Munka kétszeres hőse.

Korzsujev Mihail Vagyimovics (1955. 02. 04.)

A Moszkvai területhez tartozó Ramenszkojeban született. A Mikojan tervezőirodánál 1975. óta dolgozik. Az elején még, mint repülőgép-technikus, és a Moszkvai Repülőmérnöki Egyetem elvégzését követően, 1982.-től a repülőkísérleti állomás osztályát vezette. 1996.-ban a főkonstruktőr helyettese lett, majd 1997.-ben előbb a cég vezérigazgató helyettese, és még ugyanabban az évben vezérigazgatója. 1998.-tól az RSzK «MiG» vezérigazgatói tisztsége mellett, általános főkonstruktőr is.

Korzsujev a repülőgépek fedélzeti avionikájának, rádiónavigációs berendezéseinek és azok kapcsolatának, számítógép-rendszereinek,

valamint az elektronikus kijelzés-megjelenítés nagy tekintélyű szakértője. Az ő közvetlen irányítása alatt végezték el azokat a komplex munkálatokat, amelyek a MiG-29SzVT/UBT, valamint a MiG-AT repülőgépek fedélzeti berendezéseinek korszerű kialakításával voltak összefüggésben. Azt követően, hogy megvált a «MiG» cégtől, ismét az „Orosz Avionika" Zrt. vezetője lett.

Nyikityin Nyikolaj Fjodorovics (1950. 01. 01.)

A Moszkvai Repülőmérnöki Egyetem „repülőgépgyártó" gépészmérnöki karán végzett 1973.-ban. Ezt követően a „Szuhoj" tervezőirodánál kezdett dolgozni különböző munkakörökben, többek közt, mint a Szu-27 vadászgép kísérleti berepülési programjainak műszaki vezetője. 1991.-től a „Szuhoj" tervezőiroda általános főkonstruktőrének helyettese, egyben a Szu-27M, Szu-35, Szu-37MP, és az Sz-80 repülőgépek főkonstruktőreként tartják számon. 1999. február 03.-tól a «MAPO» (RSzK «MiG») hadiipari komplexum vezérigazgató-főkonstruktőre. 1991.-ben a Szu-27 vadászrepülőgép létrehozásában kifejtett tevékenységéért megkapta a Szovjetunió Állami Díját, majd később az Orosz Föderáció érdemes repülőgép-tervezője címet is.

* * *

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] ZSÁK FERENC: MiG-15. Az Aero História 2. sz. különkiadása, HU ISSN 0238-7905, 2002. dec. 31.
[2] ЕВГЕНИЙ АРСЕНЬЕВ, АНДРЕЙ ФОМИН: МАРКЕ «МиГ» – 70! Взлёт 12.2009. (60) декабрь.
[3] «http://www.testpilot.ru/russia/mikoyan/mig.htm»
[4] «http://legion.wplus.net/guide/constr/gurevich.shtml»
[5] «http://migavia.ru/scheme/scheme2.htm»
[6] « http://www.aviaport.ru/digest/2009/12/08/186702.html »

1. számú melléklet

A 70 éves "MiG" repülőgépcsalád (1940 – 2010)

Repülőgép típusa	Első felszállás	Szériagyártás		Darabszám	Megjegyzés
		Gyártóüzem	Gyártás ideje		
MiG-1 (I-200, «X», «61»)	1940.05.04.	№1	1940	100	Magassági vadászok. Hadrendbe állítva 1940.-ben. 1945.-ig üzemeltették.
MiG-3 (I-200, «X», «61»)	1940.10.29.	№1, №155	1940-1942	3172/3322 ?	
MiG-7 («72»)	1941.05.26.	≡	≡	1	Kísérleti vadász a MiG-3 bázisán, AM-37 motorral.
DISz-200 (MiG-5, «T»)	1941.06.11.	≡	≡	1	Kísérleti kétmotoros kísérő vadászgép.
DISz-200 («IT»)	1943.01.28.	≡	≡	1	
MiG-9 (I-210, «IX»)	1941.07.23.	№1	1942	5**	Kísérleti vadászok a MiG-3 bázisán, M-82A vagy AS-82F motorral. A MiG-9 repülőgépek 1944.-ig voltak csapatszolgálatban. Megjegyzés: Nem tévesztendő össze az I-300 gyártmányokkal.
MiG-9E (I-211, «E»)	1943.02.24.	≡	≡	2	

MiG-9D (I-230)	1943.05….	≡	≡	6	Az első gépágyúval felszerelt kísérleti MiG-repülőgép.
MiG-9D (I-231, «2D»)	1943.10.19.	≡	≡	1	Kísérleti vadász AM-39 motorral.
MiG-11 (I-220, «A»)	1942.12.26.	≡	≡	2	Kísérleti magassági vadász AS-82F vagy AM-39 motorral.
MiG-11 (I-221, «2A»)	1943.12.02.	≡	≡	1	Kísérleti magassági vadász hermetikus pilóta-fülkével.
MiG-11 (I-222, «3A»)	1944.05.07.	≡	≡	1	Kísérleti magassági vadászgépek.
MiG-11 (I-224, «4A»)	1944.09.16.	≡	≡	1	
MiG-11 (I-225, «5A»)	1944.07.21.	≡	≡	2	
MiG-3U (I-230, «D»)	1943.05.10.	№155	1943	6**	A MiG-3 oktató változata. Csapatszolgálatban 1943 és 1945 között voltak.
MiG-13 (I-250, «N»)	1945.04.04.	№381	1946	10**	Kísérleti vadász kombinált sugárhajtóművel, amelynek a kompresszorát egy VK-107A dugattyús motor forgatta meg. Ebből a típusból a szériagépek 1946.-ban voltak csapatszolgálatban.
MiG-8 («Utka», «U»)	1945.08.13.	≡	≡	1	Kísérleti «Kacsa» elrendezésű, toló légcsavar-ral.
MiG-9 (I-300, «F»)	1946.04.24.	≡	≡	602	A MiG tervezőiroda első sugárhajtású gépe. 1947.-ben lett hadrendbe állítva. A szovjet és az észak-koreai légierőnél az 1950-es évek elejéig volt szolgálatban.
UTI MiG-9 (I-301T, «TF1»)	1947.06.31.	≡	≡	1	A MiG-9 kísérleti oktató-gyakorló változata. A beméréseknél repülő laboratóriumként használták.
UTI MiG-9 (I-301T, «TF2»)	1947.08.25.	≡	≡	1	A MiG-9 kísérleti oktató-gyakorló változata. A mellső ülésben katapultüléssel szerelve.
MiG-9M (I-308, «FR»)	1948.02.22.	≡	≡	1	A MiG-9 módosított kísérleti változata, áttervezett fegyverzettel.
I-270 («Zs»)	1947.09.02.	≡	≡	2	Kísérleti elfogó vadászrepülőgép, folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművel.
MiG-15 (I-310, «Sz»)	1947.12.30.	№№ 1, 126, 153, 155, 292, 381	1949-1951	1344	Az első szériában gyártott szovjet nyilazott szárnyú vadászgép. A MiG-15-t 1948. 08. 23.-án rendszeresítették a szovjet légierőnél, a MiG-15bisz-t – 1950.-ben, a MiG-15Rbisz-t – 1951-ben. Minden változatot beleszámítva, a Szovjetunióban kilenc üzemben összesen 13131 db MiG-15 vadász repülőgépet gyártottak. Ezeken kívül Lengyelországban és Csehszlovákiában még 4181 db ilyen típusú gép készült. Mindösszesen tehát 17312 db MiG-15 lett legyártva, és a világ 40 országában hadrendbe állítva. A Szovjetunióban az UTI MiG-15 repülőgépek egészen az 1970-es évek végéig üzemeltek.
MiG-15Pbisz (I-311, SzP-1)	1949.04.23.	№1	1951	5	
UTI MiG-15 (I-312, SzT)	1949.06.27.	№№ 1, 99, 135, 153,	1950-1959	3433	
MiG-15bisz (I-317, «SzD»)	1949.07.07.	№№ 1, 21, 31, 126,153, 292	1950-1953	7936	
MiG-15Rbisz («SzR»)	1950.06.14.	№21	1951-1952	364	
MiG-15Szbisz (SzD-UBP)	1950.06.20	№292	1951	49	
MiG-15Pbisz («SzP-5»)	1950.08.22.	≡	≡	1	Kísérleti elfogó vadász.
UTI MiG-15P («SzT-7»)	1953.08….	≡	≡	2	Kísérleti oktató-gyakorló elfogó vadászgép, RP-1 „Izumrud” fedélzeti rádiólokátor-állomással felszerelve.
					Kísérleti kétüléses elfogó vadász, az egyik 2 db RD-45, a másik pedig 2 db

MiG-15 (I-320, «R»)	1949.04.16.	≡	≡	2	VK-1 tandem elrendezésű és függőleges irányban lépcsőzetesen elhelyezett hajtó-művekkel, „Torij-A”, illetve „Korsun” lokátor-állomással felszerelve.
MiG-17 (I-330, «SzI»)	1949.07.26.	№№ 1, 21, 31, 126,153	1952-1955	5467	A MiG-17 1951. 08. 23.-án kezdte meg a szolgálatot a szovjet légierőnél. Az «SzI» és «SzI-21» gyártmányokból együttesen gyártottak 5467 darabot.
MiG-17ASz («SzI-21»)	1953.08….	№126	1952-1955	≡**	
MiG-17P (I-335, «SzP-2»)	1950.04.06.	≡	≡	1	Minden változatot beleszámítva, a MiG-17 típusból a Szovjetunióban összesen 8045 db-ot gyártottak. Ezeken kívül, Kínában, Lengyel-országban és Csehszlovákiában még 3061 db-ot. Mindösszesen 11106 db MiG-17 készült. Ezek a világ 40 országában voltak hadrendbe állítva.
MiG -17F («SzF»)	1951.09.29.	№№ 126, 153	1954-1958	1685	
MiG -17R («SzR-2sz»)	1952.07.04.				
MiG-17P (SzP-6, SzP-7A)	1952.06.10.	№21	1953-1954	225	
MiG-17PF (SzP-7, SzP-7F)	1952.08.08.	№№ 21, 31	1954–1956	668	A MiG-17PF 1953. 06. 27.-én lépett szolgálatba. A szériában gyártott típus, „Izumrud” lokátorállomással volt szerelve. Az SzP-7F változatnál a gépágyúkat eltávolították, a szárnyakon pedig tartógerendákat helyeztek el 4 db rakéta számára.
MiG -17 («SzN»)	1953.07.26.	≡	≡	1	Kísérleti repülőgép oldalsó levegőbeömlő-nyílásokkal és irányítható függesztett csöves fegyverzettel.
MiG-17PFU («SzP-15»)	1956	№21	1956	40*	A MiG-17PF módosított változata irányított rakétafegyverzet alkalmazására.
I-350 («M»)	1951.06.16.	≡	≡	1	Kísérleti hangsebesség feletti vadászgép, AL-5 hajtóművel szerelve.
I-340 («SzM-1»)	1952.04.19.	≡	≡	1	Kísérleti kéthajtóműves hangsebesség feletti vadászgép 2 db AM-5 hajtóművel, a MiG-17-ből kifejlesztve, magassági kormánnyal.
I-360 («SzM-2»)	1952.05.24.	≡	≡	2	Kísérleti kéthajtóműves hangsebesség feletti vadászgép.
MiG -19 («SzM-9», «59»)	1954.01.05.	№№ 21, 153	1955-1956	278	Az első szovjet szériában gyártott szuperszonikus vadászgép. Minden változatot együtt véve és beleértve az SzM-12PMU-t is, a Szovjetunióban összesen 1890 db MiG-19-t gyártottak. Ezeken kívül, Kínában és Csehszlovákiában még további több mint 4600 db-ot. A MiG-19 gépek össz-darabszáma meghaladta a 6490-t. Ezek a világ több mint 25 országában teljesítettek szolgálatot. A Szovjetunióban az MiG-19 repülőgépek az 1970-es évek végéig üzemeltek. Sőt, néhány országban még a XXI. század első évtizedében is.
MiG-19Sz (SzM-9/3, «61»)	1955.09.13.		1956-1959	705	
MiG-19SzV («SzM-9V»)	1956.06….		1956-1957	100	
MiG-19P (SzM-7, SzM-7/2, «62»)	1954.08.28.	№21	1956-1958	433	
MiG-19PM (SzM-7A, «60», SzM-7M, SzM-7/2M, «65»)	1956	№21	1956-1960	369	
SzM-6	1956.09.05.	≡	≡	≡	Kísérleti vadászgép rakéta fegyverzettel.
MiG-19SzU («SzM-50»)	1956.11.30.	≡	≡	5**	Kísérleti vadászgép AM-3BM hajtóművel és folyékony hajtóanyagú U-19 gyorsítóval.
SzM-30	1957.04.13.	≡	≡	2	Kísérleti vadászgép kiépítetlen repülőtérről történő felszállásra.
SzM-12	1957.05….	≡	≡	4	Kísérleti nagysebességű repülőgép.
					Kísérleti nagysebességű és

SzM-12PMU («66»)	1958.06.23.	№21	1958	5**	nagymagasságú repülőgép R-3M26 hajtóművel és folyékony hajtóanyagú RU-013 rakétagyorsítóval, valamint 2 db RSz-2USz rakétával.
I-370 («I»)	1955.02.16.	≡	≡	1	Kísérleti szuperszonikus vadászgép a MiG-19-hez hasonló változatban, egyetlen nagyteljesítményű VK-7 hajtóművel.
I-3U	1956.10.09.	≡	≡	1	„Uragan" automatikus vezérlőrendszerrel ellátott kísérleti vadászgép, VK-3 hajtóművel.
I-7U	1957.04.22.	≡	≡	1	„Uragan" automatikus vezérlőrendszerrel ellátott kísérleti vadászgépek, AL-7F hajtóművel.
I-75	1958.04.28.	≡	≡	1	
I-75F	1958.10.15.	≡	≡	1	
E-152A	1959.10.07.	≡	≡	1	Kísérleti elfogó vadászrepülőgép R11F-300 hajtóművel és 2 db irányítható K-9 rakétával a szárnyvégeken .
E-150	1960.07.08.	≡	≡	1	Kísérleti elfogó vadászgépek R15-300 hajtóművel.
E-152	1961.04.21.	≡	≡	2	
E-2	1955.02.14.	≡	≡	1	Kísérleti frontvadász nyilazott szárnyakkal és AM-9B hajtóművel.
MiG -23 (E-2A, «63»)	1956.02.17.	№21	1957	7**	Az E-2 kisszériás módosított változata, AM-9B hajtóművel.
E-50	1956.01.09.	≡	≡	3	Kísérleti elfogó-vadászrepülőgép az E-2 bázisán, rakétagyorsítóval.
E-50A «64»)	1957	№21	1957	5**	Az E-50 kísérleti szériája, Sz-155 folyékony hajtóanyagú rakétagyorsítóval.
E-4	1955.06.16.	≡	≡	1	Kísérleti frontvadász deltaszárnnyal, AM-9 hajtóművel és 2 db NR-30 gépágyúval.
MiG-21 (I-500, E-5)	1956.01.09.	№31	1957-1958	7	Deltaszárnyú vadászgép, R-11 (AM-11) hajtóművel és 2 db NR-30 gépágyúval.
MiG-21F (E-6, «72»)	1958.05.20.	№№ 21, 31	1959-1960	93	Az E-5 továbbfejlesztett változata, R-11F-300 hajtóművel, és a szárnyvégeken az irányítható rakéták számára indítósínekkel.
MiG-21F-13 (E-6T, «74»)	1959.07.24.	№№ 21, 30	1960-1962	513**	Az első nagy szériában gyártott deltaszárnyú szuperszonikus szovjet vadászgép.
MiG-21PF (E-7, «76»)	1959.08….	№№ 21, 30	1960-1968	525**	Az első nagy szériában gyártott deltaszárnyú szovjet elfogó vadászgép fedélzeti lokátorállomással, a szárnyak alatt elhelyezett irányítható rakétákkal, de csöves fegyverzet nélkül.
MiG-21U (E-6U, «66»)	1960.10.08.	№31	1962-1966	180	A MiG-21 első oktató-gyakorló változata.
MiG-21PFSz / PFM (E-7SzPSz, «95»)	1962	№№ 21, 30	1963-1968	944**	A MiG-21F-13 1960. novemberében, a MiG-21PF 1961. szeptemberében, a MiG-21Sz 1967. 09. 20.-án, a MiG-21bisz 1972. 11. 23.-án lett hadrendbe állítva a szovjet légierőnél. A MiG-21 vadászokból a Szovjetunió három repülőgépgyártó üzemében összesen 10710 db készült. Ezeken kívül Indiában, Kínában és Csehszlovákiában még további 3850
MiG-21Sz (E-7Sz, «95»)	1963	№21	1965-1968	145	
MiG-21P (E-7P, «03»)	1963	№21	1966-1971	448	
MiG-21FL («77»)	1965	№№ 21, 30	1965-1968	233**	
MiG-21USz (E-6USz, «68»)	1965	№31	1966-1971	412	
MiG-21SzM («15»)	1968	GAZ	1968-1970	349	

MiG-21M («96»)	1968	Znamja Truda	1968-1971	≡	db repülőgépet gyártottak ebből a típusból. Mindösszesen mintegy 14560 darabot. A MiG-21 típuscsaládba tartozó vadászrepülőgépek a világ 49 országában álltak szolgálatban. Sőt, néhány ország légierejénél még a XXI. század első évtizedében is.
MiG-21MF («96M»)	1970	GAZ Znamja Truda	1970-1977	231**	
MiG-21UM (E-6UM, «69»)	1970	TbAZ	1971-1986	1133	
MiG-21MT («96T»)	1971	Znamja Truda	1971	15	
MiG-21SzMT («50»)	1971	GAZ	1971-1973	281	
MiG-21bisz (E-7bisz, «75»)	1971	GAZ	1971-1985	2013	
E-8	1962.04.17.	≡	≡	2	Kísérleti vadászgép elöl elhelyezett, „Kacsa" elrendezésű vízszintes stabilizátorral és R21F-300 hajtóművel. Az első példány a levegőben darabokra tört. A másodikkal a 18. felszállás után a további kísérleteket befejezettnek nyilvánították.
MiG-21PD («23-31»)	1966.06.16.	≡	≡	1	Kísérleti vadászgép kiegészítő emelő hajtó-művekkel.
MiG-21I («21-11»)	1968.04.18.	≡	≡	2	Kísérleti repülőgép „faroknélküli delta" változatban, mint a szuperszonikus TU-144 analóg változata, repülőképes makettként.
MiG-21-93, **MiG-21UPG**	1995.05.25.	HAL*	≡	125*	Az indiai légierő korszerűsített vadászgépei.
MiG-23PD («23-01»)	1967.04.03.	≡	≡	1	Deltaszárnyú kísérleti repülőgép emelő hajtóművekkel.
MiG-23 («23-11», «2»)	1967.06.10.	Znamja Truda	1968 - 1971	136	Változtatható szárnynyilazású vadászgép.
MiG-23Sz («23-21», «22»)	1969.05.28.		≡	59	Változtatható szárnynyilazású vadászgép, erősebb R-27F2M-300 hajtóművel.
MiG-23UB («23-51», «2U»)	1970.04.10.	IMZ	1970-1985	1008	A MiG-23M 1974.-ben, a MiG-23ML 1982. 01. 18.-án, a MiG-23P 1982. januárjában, a MiG-23B 1973.-ban lett hadrendbe állítva a szovjet légierőnél. A MiG-23 típuscsaládba tartozó repülőgépekből összesen 5266 db készült. Ezek több mint 20 országban teljesítettek szolgálatot. A MiG-27 1975.-ben, a MiG-27K 1980. augusztusában, a MiG-27M 1980. júliusában lett hadrendbe állítva a szovjet légierőnél. A MiG-27 típuscsaládba tartozó repülőgépekből a Szovjetunióban 732 db készült. Ezeken kívül Indiában még 165 db, mindösszesen tehát 897 repülőgép, amelyek a világ 18 országában teljesítettek szolgálatot. Sőt, néhány ország légierejénél még a XXI. század első évtizedében is.
MiG-23 («23-41»)	1970.08.20.	≡	≡	1	
MiG-23M («23-11M», «2M»)	1972.06.…	Znamja Truda	1971-1978	1353	
MiG-23MSz («23-13», «MSz»)	1973		1974-1978	179	
MiG-23ML («23-12», «3»)	1975.01.21.		1976-1983	1241	
MiG-23MF («2MF»)	1978		1976-1983	278	
MiG-23P («23-14», «6»)	1978		1978-1983	321	
MiG-23MLD («23-18»)	1982		1984	65*/**	
MiG-23B («32-24»)	1971.02.18.		1972	24	
MiG-27/MiG-23BM («32-25»)	1972.11.17.	IMZ	1973-1977	360	
MiG-23BN («32-23»)	1973	Znamja Truda	1973-1985	600	
MiG-27K/MiG-23BK («32-26»)	1974.12.30.	IMZ	1976-1982	214	

MiG-27M («32-29»)	1976.05.05.	UUAZ	1977-1984	148	
MiG-27D («32-27»)	1982	IAZ, LARZ	1983-1985	242* + 62*	A korábban gyártott MiG-27 repülőgépek átalakítása MiG-27M változatra.
MiG-27ML(«32-27L»)	1982	IAZ, NAL	1986-1996	242* + 62*	Licencszerződés alapján Indiában gyártott repülőgépek.
MiG-25P (E-155P, «84»)	1964.09.09.	GAZ	1968-1977	622	Az első szériában gyártott szovjet repülőgép, amely 3000 km/h sebességgel képes repülni, 2 db R-15BD-300 hajtóművel és RP-25 „Szaphir-25" lokátor-állomással szerelve. A MiG-25P 1972. 04. 13-án, a MiG-25PD/PDSz 1980. júniusában lépett szolgálatba a szovjet légierőnél.
MiG-25PD («84D»)	1977.11.19.		1978-1984		
MiG-25PDSz («84DSz»)	1979	ARZ	1979-1983*	≡*	
MiG-25PU (E-155PU,«84D»)	1969.10.28.	GAZ	1970-1983	173	
MiG-25R (E-155R, «02»)	1964.03.06.	GAZ	1968-1970	≡	Nagysebességű és nagymagasságú felderítő repülőgép.
MiG-25RB («02B»)	1970.02….		1970-1982	≡	„Kub" felderítő állomással szerelve.
MiG-25RBV («02V»)	1970		1972-1978	≡	A MiG-25RB/RBV repülőgépek 1972. 12. 18.-án lettek szolgálatba állítva. Az „RBV" változat „Virazs" rádiófelderítő állomással volt ellátva.
MiG-25RBK («02K», «52»)	1970	GAZ	1972 - 1980	≡	A MiG-25RBK/RBSz repülőgépek szintén 1972. 12. 18-tól lettek szolgálatba állítva a szovjet légierőnél. A MiG-25 típusból összesen 1106 db készült, melyekbe együttesen a 223 db felderítő változat is beletartozik. A MiG-25 repülőgépek a világ 7 országában láttak el szolgálati feladatot, néhány ezek közül még napjainkban is repül.
MiG-25RBSz («02Sz», «51»)	1971.02….		1972 - 1977		
MiG-25RBT («02T»)	1978		1979 - 1982		
MiG-25RU (E-155RU, «39»)	1969.12.25.		1970 - 1982	48	
MiG-25BM («02M», «66»)	1977.01.27.		1970-1982	40	
MiG-25RBF («02F»)	1980	≡	≡*	≡*	A MiG-25RBK átépített változata "Sar-25" rádiótechnikai felderítő állomással.
MiG-25RBS («02S»)	1980	≡	≡*	≡*	A MiG-25RBSz átépített változata „Sompol" vagy „Sar" rádiólokációs felderítő állomással felszerelve.
MiG-25MP	≡	≡	≡	≡	Kísérleti példány, a MiG-31 prototípusa.
MiG-31(E-155MP, «83», «01»)	1975.09.16.	GAPO	1979-1990	503	A MiG-31 elfogó vadászrepülőgép fedélzeti rádiólokátor-állomása fázisvezérelt antenna-ráccsal van készletezve. A szovjet légierőnél 1981. 05. 06.-án lett rendszeresítve a típus. Napjainkban az orosz és a kazah légierőnél van szolgálatban. A „B" változat légi utántöltésre is alkalmas.
MiG-31B («01B»)	1989.06.30.		1990-1991		
MiG-31M (I-255MP, «05»)	1985.12.21.	GAPO	≡	7	Korszerűsített elfogóvadászok kísérleti szériája, új típusú fegyverzettel.
MiG-31D («07»)	1987.01.01.	≡	≡	2	Különleges rendeltetésű, műholdak elleni kísérleti repülőgép, repülő rakétaindító állomás („szputnyikvadász").
MiG-31BSz («01BSz»)	1991	GAPO*	1991-1995*	≡*	A csapatoknál szolgált MiG-31 repülőgépek utánmunkált, korszerűsített változata.

MiG-31BM («01BM»)	1991	GAPO*	2008-tól*	>6*	A csapatoknál szolgált MiG-31B repülőgépek átalakított változata MiG-31BM típusra, földi rádiólokátor-állomások zavarása céljából.
MiG-31FE	≡	≡	≡	≡	A MiG-31BM export változata.
«**105-11**»	1976.10.11.	≡	≡	1	Egy fejlesztés alatt álló légi-kozmikus jármű analóg kísérleti repülőgépes változata.
MiG-29 («9-12», «5»)	1975.09.16.	MAPO	1982-1992	620	A MiG-29 a legnagyobb darabszámban gyártott negyedik generációs szovjet vadászrepülőgép, amely 1987. 11. 06.-án, a MiG-29UB pedig 1991. 07. 01.-én állt szolgálatba a szovjet légierőnél.
MiG-29UB («9-51», «30»)	1981.04.29.	GAPO	1985-től	197/220** ?	
MiG-29 («9-13», «7»)	1984.05.04.	MAPO	1986-1991	512	
MiG-29 («9-14»)	1985.02.13.	≡	≡	1	
MiG-29M («9-15», «9»)	1986.04.26.	MAPO**	1988-1991**	6**	
MiG-29K («9-31»)	1988.06.23.	≡	≡	2	Anyahajó-fedélzeti vadászgép kísérleti példánya.
MiG-29Sz («9-13Sz»)	1989.01.20.	MAPO	1992-1993	16	A MiG-29Sz 1994. 02. 23.-án lépett szolgálatba.
MiG-29SzE («9-13SzE»)	1998	MAPO	1993-1998	~30	Napjainkig összesen több mint 1400 db MiG-29 repülőgép készült el. A szériagyártás folytatódik, de csak a kereslet igénye szerint. Ez a típus jelenleg a világ 26 országában van hadrendbe állítva.
MiG-29SzMT («9-17»)	1998.04.22.	≡	≡	3*	
MiG-29UBT («9-52»)	1998.08.24.	≡	≡	2*	
MiG-29M2 (№154)	2001.09.26.	≡	≡	1*	
MiG-29BM	2002	558 ARZ*	2002-2004	4*	
MiG-29M OBT (№156)	2003.08.17.	≡	≡	1*	
MiG-29SzMT («9-18»)	2003	RSzK «MiG»	2005-től	~20	
MiG-29UB («9-53»)	2004	NAZ «Szokol»	2004-től	~10	
MiG-29SzMT («9-19»)	2005	RSzK «MiG»	2007-től	32	
MiG-29K («9-41»)	2007.06.25.	RSzK «MiG»	2008-tól	13	Kisszériában gyártott anyahajó-fedélzeti vadászgép.
MiG-29KUB («9-47»)	2007.01.20.	RSzK «MiG»	2008-tól	5	Anyahajó-fedélzeti oktató-gyakorló vadászgép.
«**301**»	≡	≡	≡	≡	Hiperszonikus felderítő-bombázó repülőgép tervezete.
MiG-33	≡	≡	≡	≡	A MiG-29 tolóerővektor-vezérléssel tovább-fejlesztett változatának terve.
MDP («7-01»)	≡	≡	≡	≡	Többfeladatú távolsági elfogó vadászgép tervezete.
MFI («1-42»)	≡	≡	≡	≡	Többcélú frontvadász tervezete.
MiG-39 (MFI, «1-44»)	2000.02.29.	ANPK «MiG»	≡	1	«5» generációs többfeladatú frontvadász kutató-kísérleti példánya. Kettő felszállásig jutott, majd törölték a programot.
MiG-35 («9-61»)	2009	≡	≡	1	Nincs közlemény!
MiG-35D («9-67»)	2009	≡	≡	1*	
MiG-AT	1996.03.16.	≡	≡	2	Kísérleti oktató-gyakorló repülőgép 2 db francia „Larzac” hajtóművel és szintén francia gyártmányú fedélzeti rádióelek-tronikai berendezésekkel. A második példány 1 db orosz gyártmányú RD-1700 hajtóművel és berendezésekkel ellátva.
MiG-AC	≡	≡	≡	≡	A MiG-AT együléses változatának

					tervezete.
MiG-110	≡	≡	≡	≡	Könnyű többcélú repülőgép tervezete.
MiG-115	≡	≡	≡	≡	Általános rendeltetésű repülőgép (az AN-2 felváltására).
MiG-125	≡	≡	≡	≡	Sugárhajtású szállító repülőgép tervezete.
«**210**»	≡	≡	≡	≡	Szuperszonikus szállító repülőgép tervezete.
LFI	≡	≡	≡	≡	«5» generációs könnyű frontvadász tervezete.
MiG-2000	≡	≡	≡	≡	Hiperszonikus, atmoszférán kívüli repülőgép tervezete.

Jelmagyarázat:
- * Korábban gyártott repülőgépek korszerűsített változata.
- ** Becsült darabszám.
- «…» „Gyártmány” kódjának jelölése.
- ≡ Nincs adat.
- …/…? Forrásanyagok egymástól eltérő adatai.

Megjegyzés:
- A táblázatban az A.I. Mikojan tervezőiroda által kidolgozott olyan sériában gyártott vagy kísérleti változatban készült repülőgépek adatai vannak bejegyezve, amelyek legalább egy felszállást ténylegesen végrehajtottak. Ez alól kivételt az utóbbi évek tervezés alatti gépei jelentenek. Természetesen ezeken kívül az 1939-2009 évek között tekintélyes mennyiségű olyan repülőgépnek a terve is elkészült, amelyek különböző okok miatt nem jutottak el a próbarepülésig. A különféle laboratóriumi mérésekre alkalmassá tett repülőgépek, valamint a kísérleti és kutatási céllal a sériától eltérően egyedi gyártásban készült változatok a táblázatban csak részben vannak megnevezve. A gyártóüzemekben elkészült azon repülőgépek, amelyek egyetlen felszállást sem teljesítettek, nem lettek figyelembe véve a legyártott mennyiség végső összegzésénél. Azoknál a típusoknál, amelyeknek a gyártása (akár licencszerződés alapján is) tovább folytatódik, az elkészült mennyiség darabszáma a 2009. év december havának adatai alapján lett megállapítva. Az egyes típusok sériagyártásába bevont üzemek megnevezései az adott időszak állapotának megfelelően vannak bejegyezve.
- Az 1939-2009 között eltelt időszakban a szovjet-orosz repülőipar üzemeiben, 12 alapvető típusváltozat keretében mintegy 47000 db «MiG» készült el sériagyártásban. A külföldi üzemekben legyártott repülőgépeket is figyelembe véve, a «MiG»-ek teljes mennyisége meghaladja a 62000-t.

Felhasznált irodalom:

- Евгений АРСЕНЬЕВ és Андрей ФОМИН ***Марке «МиГ » – 70!*** című cikke a «**Взлёт**» orosz nyelvű folyóirat 2009. decemberi számából.
- http://www.testpilot.ru/russia/mikoyan/mig_list.htm

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. Bottyán Zsolt

AZ EUMETSAT EUMETCAST METEOROLÓGIAI MŰHOLDAS RENDSZERÉNEK FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGE AZ OPERATÍV ELŐREJELZÉSBEN, A KATONAI REPÜLŐTEREKEN

BEVEZETÉS

A 86. SZHB, az 59 SZDRB és a PBRT alárendeltségében tevékenykedő és a katonai repülőtereken települő meteorológiai csoportok alapvető feladata a repülések meteorológiai biztosítása, melynek során a levegő fizikai állapotának észlelését, folyamatos nyomon követését és rövid távú előrejelzési feladatok végrehajtását kell koordinálniuk. Az előrejelzési feladat lényegében egy három óránként jelentkező, átfedéses, nowcasting jellegű prognózis előállítása, mely 9 óra időtartamra az alapvető repülésmeteorológiai paraméterek várható értékeinek meghatározását és adott távirati szabvány (TAF) szerinti kódolását jelenti.

A fent említett prognózis elkészítéséhez elengedhetetlenül szükséges egy megbízható (részletes) analízis, melynek elkészítéséhez szükséges a földi és aerológiai mérések mellett a távérzékelési adatok felhasználása is. Ezek elsősorban a meteorológiai műholdak által szolgáltatott és a belőlük készített – elsősorban képi megjelenítésű – produktumok.

Napjainkban a katonai repülőterek – több forrásból is - rendelkeznek ugyan közel valós idejű (20 percenként frissülő) műholdas képekkel, de ezek csak igen szerény szegmensét jelentik a hozzáférhető műholdas produktumoknak! Jelenleg csak az MSG-2 (Meteosat Second Generation 2 geostacionárius műhold) VIS0.6, a WV6.2, az IR10.8 és az ún. természetes színű nappali kompozit (Natural Color RGB Composite) képekhez van hozzáférésük a meteorológiai csoportoknak.

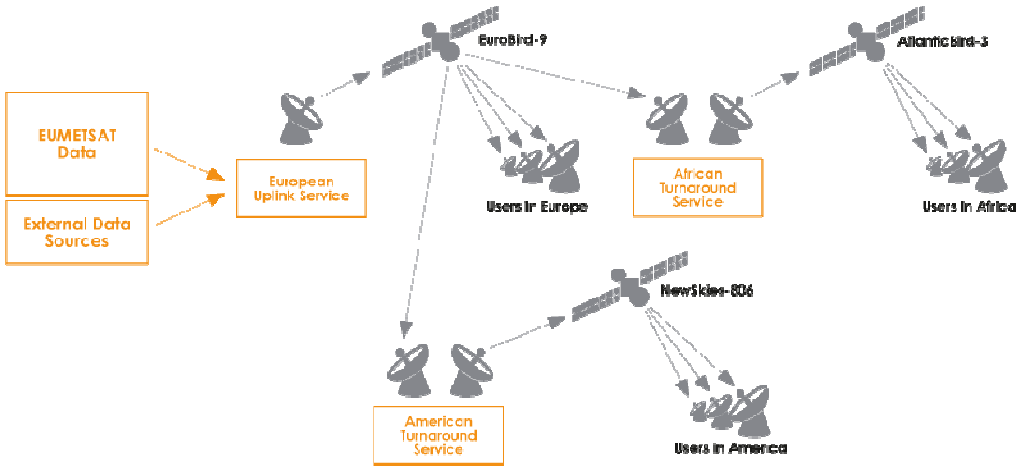
Munkánkban bemutatjuk az EUMETCast rendszeren keresztül elérhető és felhasználható geoszinkron műholdas szegmenseket és végül egy esettanulmányon keresztül megmutatjuk ezek hasznosságát is.

AZ EUMETSAT EUMETCAST MŰHOLDAS RENDSZERE

Az EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) az európai meteorológiai műholdas adatszolgáltatás központja, székhelye Darmstadt, Németország. Az EUMETSAT üzemelteti a meteorológiai műholdakat, a kiszolgálásukhoz és az adatfeldolgozáshoz

szükséges infrastruktúrát is. Magyarország 2008 ősze óta teljes jogú tagja az EUMETSAT szervezetének, így azóta, a hazai felhasználók is jóval könnyebben juthatnak hozzá a meteorológiai műholdas produktumokhoz.

Az EUMETSAT a meteorológiai műsorszórást többféle módon teszi lehetővé, melyek közül munkánkban a EUROBIRD-9A telekommunikációs műhold segítségével történő adattovábbítást és vételt ismertetjük, amit EUMETCast rendszernek neveznek (1. ábra).



1. ábra. Az EUMETSAT EUMETCast műholdas műsorszórási rendszere. Forrás: (http://www.eumetsat.int/Home/Main/What_We_Do/EUMETCast/System_Description/index.htm?l=en)

Az EUMETSAT által üzemeltetett műholdak adatait a darmstadti központban (és a poláris holdak adatainak vételét megvalósító regionális központokban) veszik közvetlenül és itt rögtön fel is dolgozzák azokat, illetve speciális további produktumokat állítanak elő a műholdak mérései alapján. Az így kapott adatokat a már említett telekommunikációs műholdra sugározzák fel, majd onnan egy egyszerű (digitális műholdas adások vételére alkalmas) berendezéssel – EUMETSAT licensz birtokában – bárki veheti is (1. ábra)!

Természetesen a műholdas vevőrendszer igényel némi hardver és szoftver erőforrást, de a kiépítés és üzemeltetési költség viszonylag csekély, így könnyen installálható bárhol, de dolgozatunkban erre a kérdésre nem térünk ki részletesebben. A vételhez szükséges licensz megszerzéséhez az EUMETSAT-hoz kell fordulni közvetlenül, a honlapjukon meglévő regisztrációs adatlap kitöltésével.

A ZMNE BJKMK RLI Repülésirányító és repülő-hajózó tanszékének Repülésmeteorológiai Laboratóriumában (AWL, Aviation Weather Lab.) egy hónapja működik egy digitális EUMETCast műholdvevő rendszer, mellyel mind a geostacionárius, mind pedig a poláris műholdak produktumait képesek vagyunk venni és feldolgozni (2. ábra).

2. ábra. A ZMNE, BJKMK, RLI Repülésirányító és Repülő-hajózó tanszék EUMETCast műholdas vevőjének vevőantennája és képfeldolgozó rendszere

A vevőállomás által vett adatfile-okat egy szoftver segítségével konvertáljuk képpé és készítünk a különböző csatornákon vett képekből összetett, ún. RGB kompozit produktumokat, melyek valamely időjárási paraméter vagy jelenség kiemelt megjelenítésére szolgálnak.

AZ EUMETCAST MŰHOLDAS MŰSORSZÓRÁS GEOSTACIONÁRIUS PRODUKTUMAIRÓL ÁLTALÁBAN

Az MSG-2 geostacionárius műhold 12 csatornáján készített felvételek

Az MSG-2 geostacionárius meteorológiai műhold legfontosabb berendezése a SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) fedélzeti érzékelő, mely 12 csatornán képes letapogatni a földi rendszert. A csatornakiosztást az *I. táblázatban* láthatjuk. A csatornák közül 3 a látható, 9 pedig az infravörös tartományba esik. A műhold, a számára látható félgömbről 15 percenként készít minden csatornán felvételeket és ezeket a darmstadti központba sugározza. Az egyes csatornák önállóan is fontos információkat hordoznak a légkör állapotára vonatkozóan, melyeket röviden szintén az *1. táblázatban* foglaltuk össze. Fontos, hogy a 3 látható tartományban készült képek csak nappal, míg a többi éjjel-nappal elérhető. [1]

Nyilvánvaló, hogy a „nyers” – csak az egyes csatornák információit külön-külön hordozó – műholdképek alkalmazása a repülésmeteorológiai előrejelzésben korlátozott, hiszen számos olyan légköri tulajdonság létezik, melyek megfigyeléséhez, nyomon követéséhez több csatorna adata, illetve ezek kombinációja szükséges. Általában a nappali felhőzet nyomon követéséhez elegendő a VIS0.6 csatornán készült képek vizsgálata, de ha azt is tudni szeretnénk, hogy pl. a felhőzetben hol vannak túlhűlt vízcseppeket (SLWC, Supercooled Liquid Water Content) tartalmazó tartományok, akkor ezt

már, csak ennek a produktumnak az alkalmazásával nem tudjuk meghatározni! Hasonló a helyzet az alcsony stratus és a köd megfigyelésével is! Ezért ezek a képek további feldolgozást igényelnek, melynek egyik módja az ún. RGB kompozit képek előállítása, amiről a következő fejezetben szólunk.

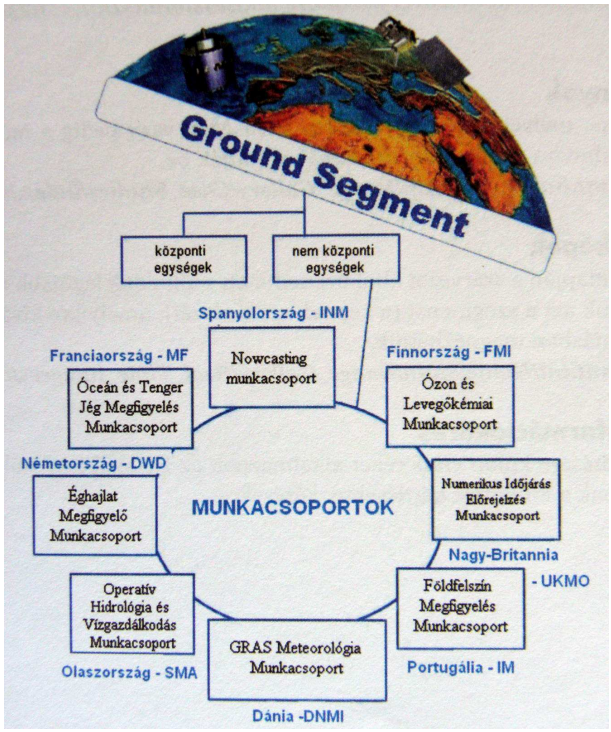
Csatorna száma	Csatorna neve és hullámhossza (μm)	Hullámhossz középértéke (μm)	Megfigyelési lehetőségek
1	VIS0.6	0,635	Felszín, felhők, szélmező
2	VIS0.8	0,810	Felszín, felhők, szélmező
3	NIR1.6	1.640	Felszín, felhőfázisok
4	IR3.9	3.900	Felszín, felhők, szélmező
5	WV6.2	6.250	Vízgőz, magas szintű felhőzet, légköri instabilitás
6	WV7.3	7.350	Vízgőz, légköri instabilitás
7	IR8.7	8.700	Felszín, felhők, légköri instabilitás
8	IR9.7	9.660	Ózon
9	IR10.8	10.800	Felszín, felhők, szélmező, légköri instabilitás
10	IR12.0	12.000	Felszín, felhők, légköri instabilitás
11	IR13.4	13.400	Cirrus felhőzet, légköri instabilitás
12	HRV	Szélessáv (0.4-1.1 μm)	Felszín, felhőzet

1. táblázat. Az MSG-2 műhold SEVIRI érzékelőjének csatornakiosztása és az egyes csatornák alkalmazhatósága.

Műholdas adatokból származtatott adatok

Ahogyan korábban említettük, az EUMETSAT a műholdról származó adatokat nemcsak továbbítja, hanem fel is dolgozza és az így kapott produktumokat, szintén beilleszti a meteorológiai műsorszórásba. Az EUMETSAT és a hozzá kapcsolódó nemzetközi munkacsoportokat (SAF, Satellite Application Facility) a 3. ábrán mutatjuk be. Ezek a csoportok számos – a repülésmeteorológiában is hasznos – produktumot állítanak elő, közel valós időben.

Repülésmeteorológiai szemmel nézve elsősorban a Nowcasting Munkacsoport (NWC SAF) és az EUMETSAT központ által előállított, származtatott produktumok (MPEF, Meteorological Products Extraction Facility) a lényegesek. Jelen tanulmányban két MPEF származtatott mezőt fogunk áttekinteni a következőkben.



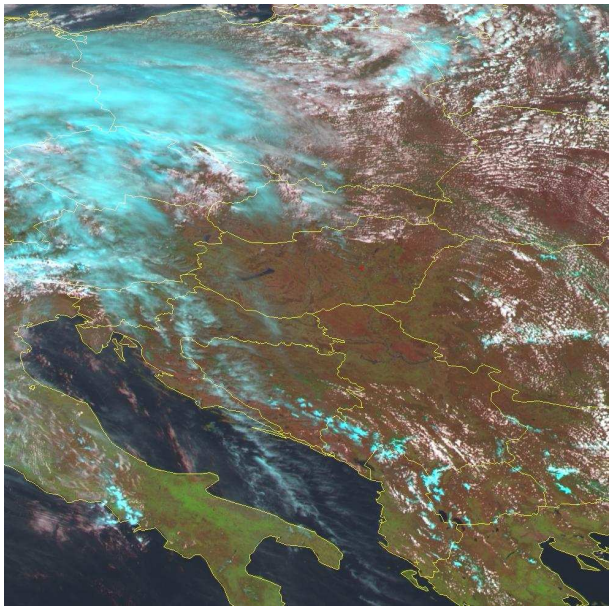
3. ábra. A nemzetközi munkacsoportok (SAF-ok) és az EUMETSAT földi kiszolgáló bázisa. Forrás: [2].

A REPÜLÉSMETEOROLÓGIÁBAN ALKALMAZHATÓ MSG-2 RGB KOMPOZIT MŰHOLDKÉPEKRŐL

Jelenleg számos, az előrejelzésben operatíve is használt RGB kompozit meteorológiai műholdkép segíti a meteorológusok munkáját. [3] Az RGB kompozit képek lényege, hogy több csatorna információját dolgozzák bele egy képbe az RGB (Red, Green, Blue) képkialakítási technika segítségével. Fontos, hogy tudjuk, milyen légköri jelenséget vagy tulajdonságot szeretnénk kiemelni a kompozit kép segítségével, mert a bemenő csatornákat eszerint kell meghatározni. A jelenleg alkalmazott RGB kompozit képek elkészítésének elvi alapját több fizikai ismeretanyag együttese alkotja. [3]

Napjainkban a MH. meteorológiai csoportjai csak az ún. természetes színezésű RGB kompozit (Natural Color RGB) műholdképekhez férnek hozzá közel valós időben (20 percenként). Ez a produktum – bár jól használható, pl. az alacsony stratus/köd, a jégfelhőzet, a vegetáció és a havas felszínek azonosítására – sajnos csak a nappali időszakban áll rendelkezésre (4. ábra).

Ugyanakkor, az éjszakai időszakban csak az említett vízgőz (WV6.2) és egy infravörös (IR10.8) csatorna „nyers” képeire támaszkodhatnak a MH. Meteorológiai csoportjai, ami jelentősen behatárolja a felhőzet tulajdonságainak és az alacsony szintű nedvességi viszonyok (alacsony stratus/köd, párásság stb.) detektálását.



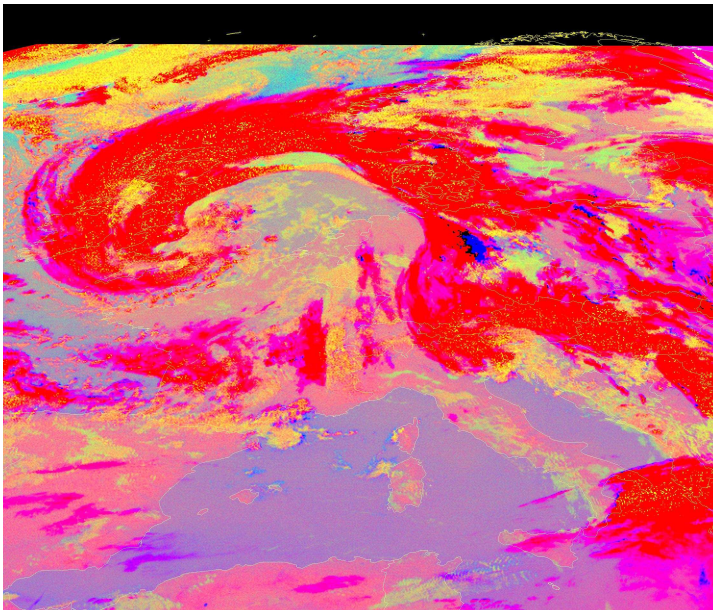
4. ábra. A természetes színezésű RGB kompozit műholdkép. Forrás: EUMETSAT. Képfeldolgozás: ZMNE, Repülésmeteorológiai Laboratórium

Véleményünk szerint az alábbi RGB kompozit műholdképekhez való hozzáférés jelentősen segítené a repülőtéri meteorológusok munkáját (a felsorolás egyben fontossági sorrendet is jelöl):

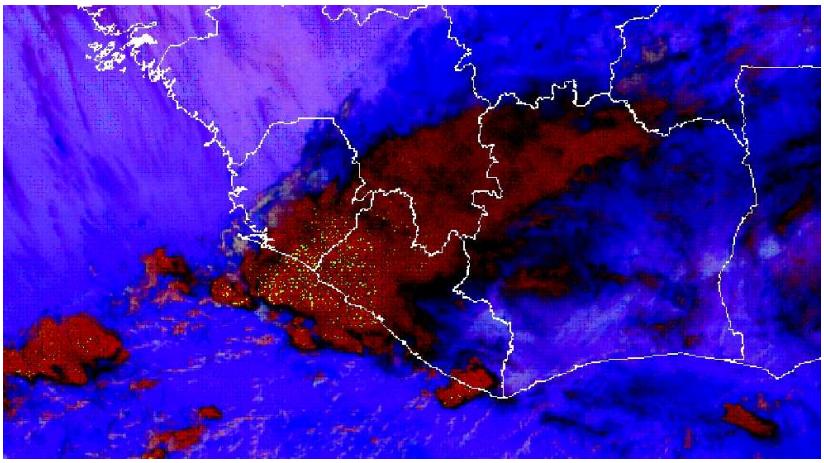
- az éjszakai köd RGB kompozit (Fog RGB),
- a konvektív RGB kompozit (Convective Storm RGB),
- a nappali mikrofizikai RGB kompozit (Day Microphysics RGB) és
- a légtömeg RGB kompozit (Airmass RGB)

Az *éjszakai köd RGB kompozit* képek segítségével a napnyugta előtt és után kialakuló alacsony stratus/köd helyzetek felismerése és nyomon követése válik lehetővé (ha más felhőzet nem borítja a kérdéses területet). Az ilyen típusú képeken az alacsony stratus/köd halvány zöldes-fehéres színnel jelenik meg a rózsaszínű felszíni háttér előtt (5. ábra). Az alacsony stratus/köd azonosítását ezen a kompozit képen az teszi lehetővé, hogy ezekben a felhőkben igen sok, kicsi méretű felhőelem van jelen, melyek esetén az IR10.8 és az IR3.9 csatornák $BTD_{10.8\text{-}3.9}$ (Brightness Temperature Difference) értéke igen nagy (0.14)! Ugyanakkor az IR10.8 csatornán a nagy és a kicsi méretű felhőelemekből álló felhőzet emisszivitása egyaránt magas érték (0.98-0.99). Mivel az említett $BTD_{10.8\text{-}3.9}$ értékeket a zöld színhez rendeljük, az alacsony stratus/köd színe a fent említett lesz a kompozit képen (5. ábra). [3]

Meg kell jegyezzük, hogy ez a kompozit kép alkalmas még az éjszakai intenzív zivatarfelhőzet (Cb) követésére is, hiszen a Cb felhőzet tetejének emisszivitása az IR3.9 csatornán rendkívül alacsony és így ezek a felhők intenzív raszteres narancssárga-piros színben tűnnek fel (6. ábra).



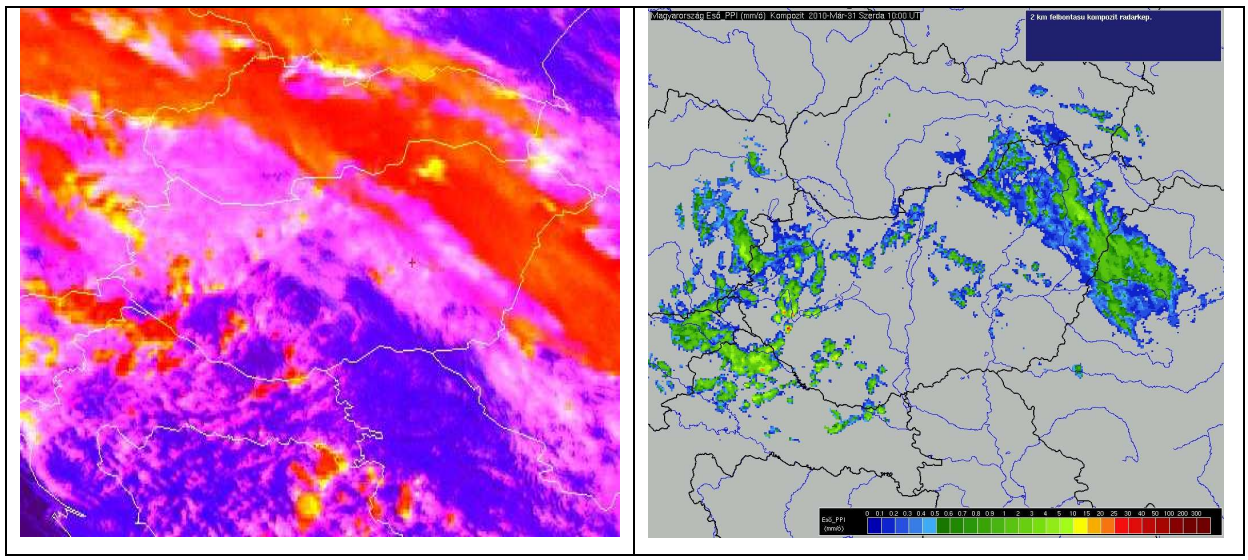
5. ábra. Az éjszakai köd RGB kompozit műholdkép. Forrás: EUMETSAT. Képfeldolgozás: ZMNE, Repülésmeteorológiai Laboratórium



6. ábra. A zivatarfelhőzet megjelenése az éjszakai köd RGB kompozit műholdképen. Forrás: J. Kerkman: APPLICATIONS OF METEOSAT SECOND GENERATION (MSG) On-line prezentáció, 2005.

A *konvektív RGB kompozit* képeken a fejlődő és kifejlett zivatarfelhőket (Cb) lehet nyomon követni a nappali időszakban. Az intenzív konvektív cellák erős sárga színben jelennek meg, a troposzféráig emelkedő vagy az azt áttörő Cb felhőzet teteje pedig erős pirosban (7. ábra). Ennek magyarázata, hogy a WV6.2 és WV7.3 csatornák közötti BTD érték ($BTD_{6.2\text{-}7.3}$) a középső troposzféra nedvességi viszonyait mutatja és a piros színnel van megjelenítve. A $BTD_{3.9\text{-}10.8}$ különbség (zöld szín) a felhőzet

mikrofizikai viszonyaira érzékeny és a NIR1.6 és a VIS0.6 csatornák reflektanciájának különbsége ($RD_{1.6-0.6}$) pedig a jégtartalom mutatója, ami a kék színt hordozza. [4]

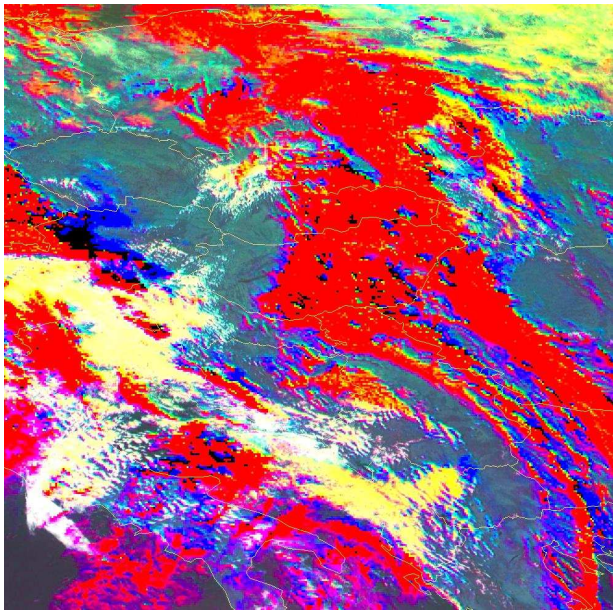


7. ábra. Intenzív konvekció (sárga színű terület) a konvektív RGB kompozit műholdképen (bal oldali kép). Ugyanezen konvektív gócok az OMSZ kompozit radarképén 2010.03.31-én 10.00 UTC-kor. Forrás: EUMETSAT. Képfeldolgozás: ZMNE, Repülésmeteorológiai Laboratórium és Országos Meteorológiai Szolgálat.

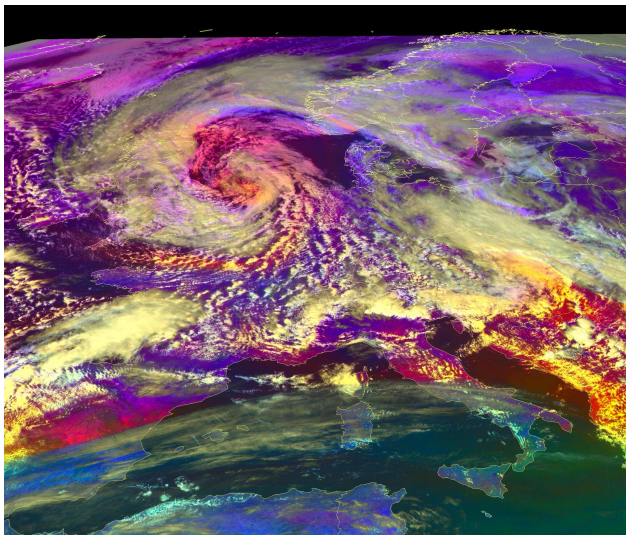
A *nappali mikrofizikai RGB kompozit* műholdképek a felhőzet mikro-léptékű felhőfizikai tulajdonságairól adnak tájékoztatást. A VIS0.8 csatorna reflektanciája a felhőzet optikai mélységéről valamint a víz- és jégtartalmáról ad információt. Ez a csatorna adja a fentebb említett RGB kompozit kép piros bemenetét. Az IR3.9–es tartomány reflektancia értékei a felhőzet elemeinek méreteloszlásáról és halmazállapotáról tájékoztatnak és a zöld színt hordozzák. Az IR10.8 csatorna BTD értékei pedig hőmérsékleti információt hordoznak és a kék színű bemenetet állítják elő. A nappali mikrofizikai RGB kompozit képeken a meleg felhőzet – amely nem ad csapadékot – fehérben látható, mert a felhőelemek kicsik, a csapadékot adó felhőzet pedig – mivel nagyobb méretű csapadékelemekből állnak – rózsaszínben tűnnek elő. A túlhűlt vizet tartalmazó felhőrendszerek pedig sárgának tűnnek fel, míg a sok jeget tartalmazó felhőtetők (pl. Cb tető) színe piros ezen az RGB kompozit képen (8. ábra). [3]

A *légtömeg RGB kompozit* műholdképek elkészítéséhez a WV6.2 és WV7.3 csatornák $BTD_{6.2-7.3}$ értékét, az IR9.7 és IR10.8 csatornák $BTD_{9.7-10.8}$ különbségét valamint a WV6.2 csatorna hőmérsékleti értékét használjuk fel úgy, hogy ebben a sorrendben kerülnek a piros, zöld és kék bemenetre. Éppen ezért ezek a kompozitok hőmérsékleti és nedvességi viszonyokat emelnek ki a troposzféra különböző rétegeiben, valamint az ózontartalomról is tájékoztatnak. A képfeldolgozás fentebb leírt módja miatt a nedves régiók kékes színben tűnnek fel, az alacsony ózontartalmú troposzférikus területek zöldes színben jelennek meg. A száraz leszálló sztratoszférikus levegő pirosas színű. Ez az RGB kompozit

kép a légtömegek elkülönítése mellett alkalmas még a gyors ciklonképződés (Rapid Cyclogenesis), a jetek (Jet Stream) és a potenciális örvényesség (Potential Vorticity) analízisére is (9. ábra).



8. ábra. A nappali mikrofizikai RGB kompozit műholdkép. Forrás: EUMETSAT. Képfeldolgozás: ZMNE, Repülésmeteorológiai Laboratórium

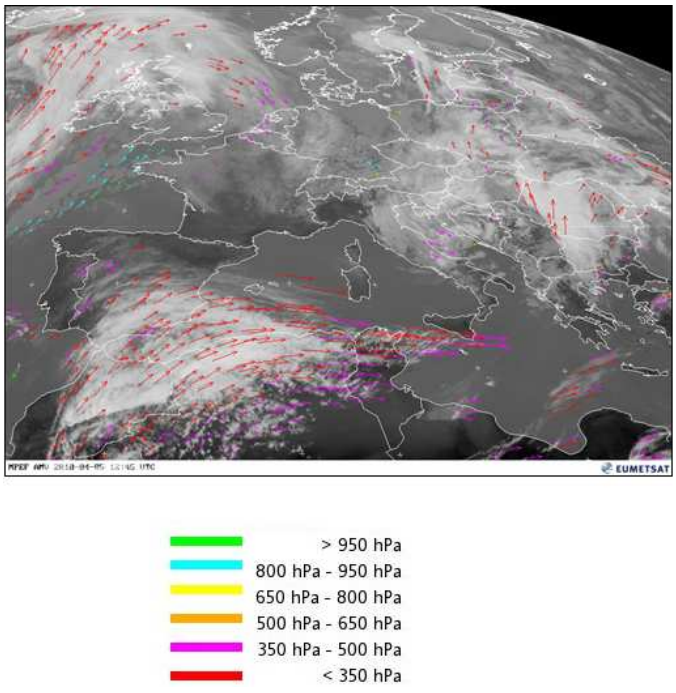


9. ábra. A légtömeg RGB kompozit műholdkép. Forrás: EUMETSAT. Képfeldolgozás: ZMNE, Repülésmeteorológiai Laboratórium

A REPÜLÉSMETEOROLÓGIÁBAN ALKALMAZHATÓ, AZ MSG-2 MŰHOLD ADATAIBÓL SZÁRMAZTATOTT EGYÉB PRODUKTUMOK

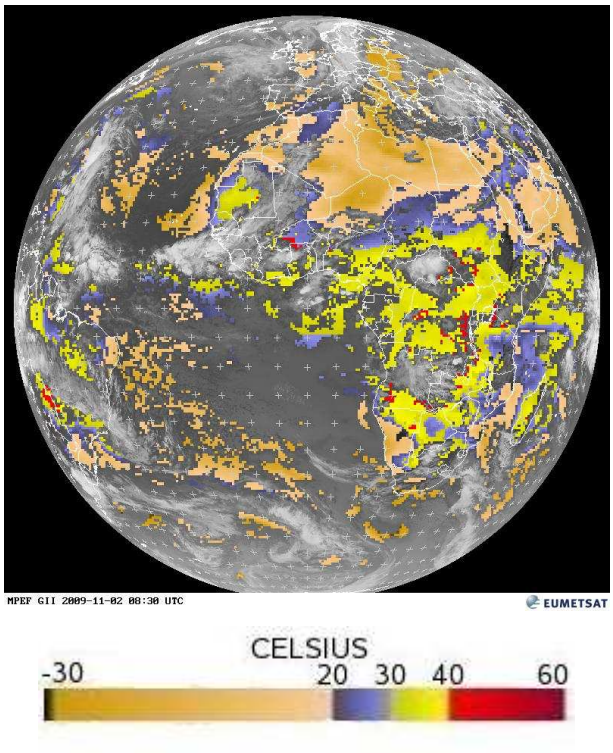
Az EUMETSAT által előállított produktumok (MPEF)

A *légköri mozgásvektorok produktum* (Atmospheric Motion Vectors, AMV) előállítása az MSG-2 műhold egymás után készült felvételeinek elemzése és feldolgozása után készül el, tehát egy adott időszakban történő vizsgálat eredményeiből származó adatokat tartalmaz a troposzféra szélviszonyait illetően. Tekintve, hogy a különböző csatornákon jól azonosítható a különböző szintű és tulajdonságú felhőzet, ezek elmozdulása jól követhető egy alakfelismerő eljárást használó szoftver segítségével. Az azonosított objektumok elmozdulásából számítják – és rajzolják az adott hátterű műholdképre – az ún. elmozdulás-vektorokat. Ezeket színekkel jelölik meg a magasságuk szerint, ahogyan a 10. ábrán látható. Többféle ilyen produktum is készül (attól függően, hogy melyik csatorna képei alapján számítják az elmozdulás-vektorokat), ezek közül most az EUMETSAT honlapján megtalálható AMV képet mutatjuk be, mely az IR10.8 csatorna adatai alapján készült. A bemutatott produktum szinoptikus órákban elérhető, így csak közel valós idejűnek tekinthetők. [2] Az EUMETCast műsorszórásban azonban 15 perces időbeli felbontásban is elérhetők pl. a CMV (Cloud Motion Vectors) képek!



10. ábra. A légköri mozgásvektorok EUMETSAT MPEF produktum. Forrás: http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/PRODUCTS/AMV/CENTRALEUROPE/index.htm

A *globális instabilitási index produktumok* között (Global Instability Index, GII) többféle instabilitási index becslését kaphatjuk meg. Tekintve, hogy az előrejelzői gyakorlatban a K-index egy igen gyakran alkalmazott és fontos stabilitási mérőszám, munkánkban ezen index területi eloszlását jellemző produktumot mutatjuk be (11. ábra). Ezen a képen a sötét és világos barna szín jelzi a stabilis légrétegződésű területeket, míg a kéktől kezdve, a sárgán át a pirosig az egyre nagyobb instabilitással rendelkező légrészeket azonosíthatjuk. A produktum szintén 15 perces időbeli felbontásban elérhető.



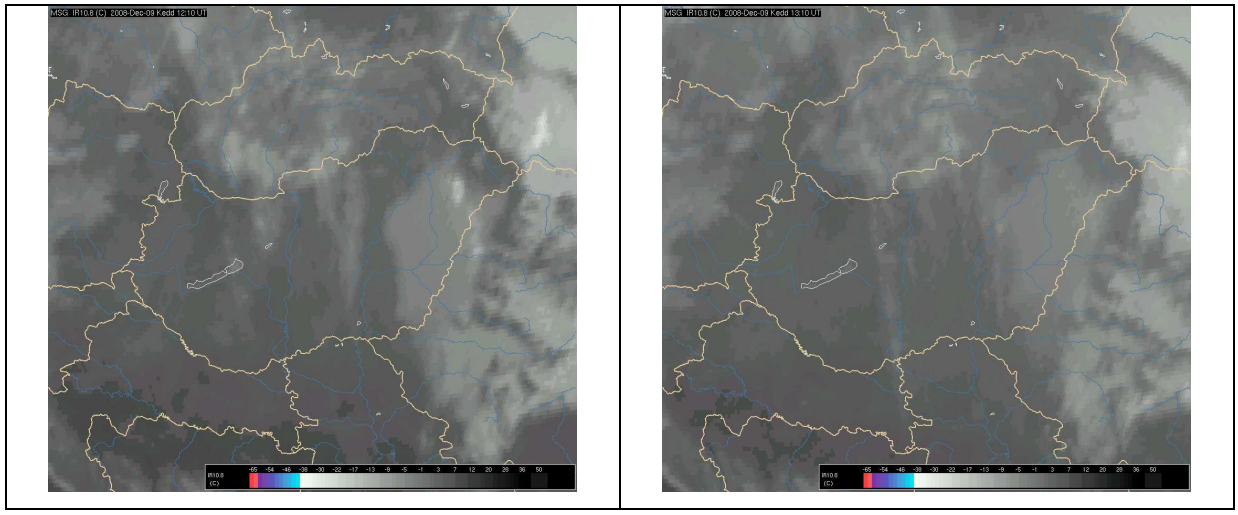
11. ábra. Az EUMETSAT MPEF globális instabilitási index produktuma. Forrás: http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/PRODUCTS/GII/K/index.htm

A „NIGHT FOG" RGB KOMPOZIT MŰHOLDKÉP ALKALMAZÁSA – ÉJSZAKAI ÁRAMLÁSI KÖD MEGFIGYELÉSE ÉS KÖVETÉSE

A MH. meteorológiai csoportjainak egyik legnehezebb feladata, az alacsony stratus/köd helyzetek detektálása és az áramlási ködök nyomon követése (az előrejelzésük problémakörét most nem érintjük). Különösen igaz ez a téli félév éjszakai időszakaiban, amikor a relatíve ritka szinoptikus állomáshálózat óránkénti (néhány repülőtérről félóránkénti) és az MSG-2 geostacionárius műhold „nyers" infravörös és vízgőz csatorna adataira támaszkodhatnak az előrejelzők. Napközben az alacsony stratus/köd jellegű felhőzet a természetes színű RGB kompozit képen, a VIS0.6 és az IR10.8

felvételeken egyaránt jól észrevehető, de napnyugta közeledtével az előző kettő képen a reflektancia drasztikusan csökken (alacsony napállás miatt), majd teljesen eltűnik (éjjel nem áll rendelkezésre ilyen típusú felvétel).

Az infravörös tartományban készült IR10.8 műholdkép esetében pedig – szemben a nappali szituációval – napnyugtakor a talaj és az alacsony stratus/köd közötti hőmérsékleti kontraszt tűnik el látványosan az erős talajfelszíni kisugárzás miatt (12. ábra). A vízgőz sávban készült felvételek önmagukban szintén nem teszik lehetővé a stratus/köd nyomkövetését, mert a troposzféra talajhoz közeli szintjének nedvességi viszonyait nem képesek ábrázolni.

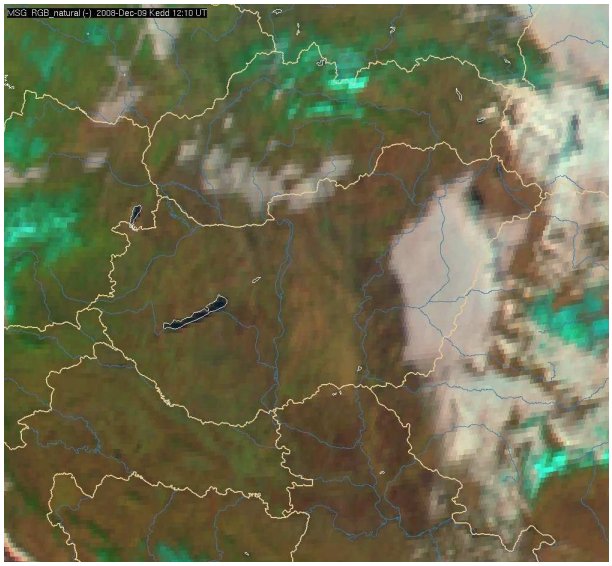


12. ábra. A Tiszántúlon nappal is megmaradó, mintegy 20000 km^2-es ködös terület jól látszik a 2008. 12. 09-én, 12.10 UTC-kor készült IR10.8-as műholdképen. Egy óra múlva már alig kivehető a jelenléte, pedig a területe növekvőben volt! Forrás: OMSZ, Hawk megjelenítő rendszere

A fentiekből következik, hogy az alacsony stratus/köd megfigyelését a felhőzet felhőfizikai tulajdonságai alapján szükséges elvégezni (találnunk kell olyan felhőfizikai tulajdonságot, ami éjjel is kiemeli a háttérből a „zajból" ezeket az objektumokat, azaz kontrasztot kell teremtenünk).

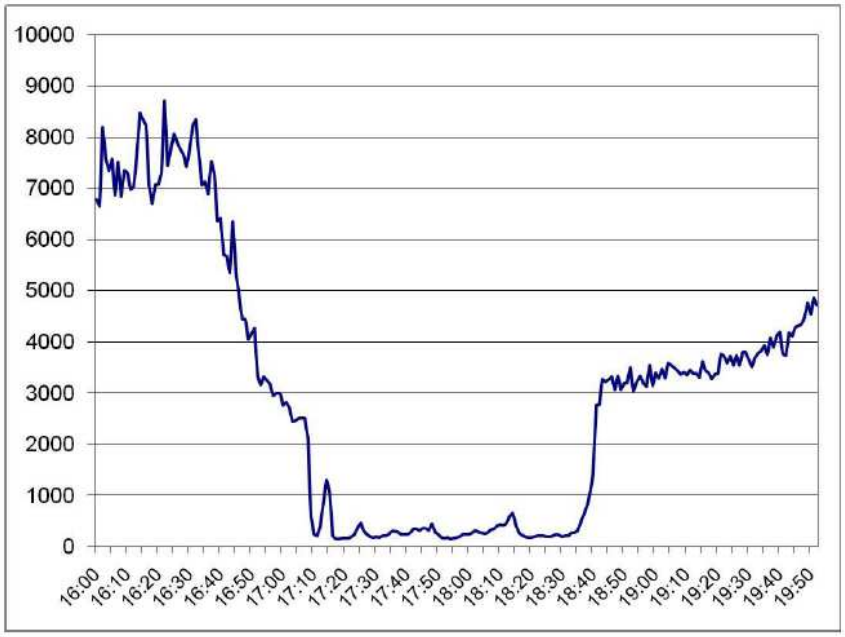
Erre a célra a már korábban említett *éjszakai köd RGB kompozit* műholdkép alkalmas, mely ezt a kiemelést az alacsony stratus/köd felhőelemeinek kicsi méretének valamint a felhőzet és a talaj gyenge hőmérsékleti különbségének kiemelésével végzi el. Miután ez a kompozit kép csak infravörös tartományú sávok felhasználásával készül, éjjel is rendelkezésre áll (5. ábra)! A kompozit alkalmazhatóságának bizonyítására egy esettanulmányt mutatunk be röviden.

A 2008. december 09-én bekövetkezett áramlási ködös helyzet szinoptikus helyzetének analízise ismert, melyet itt nem részletezünk. [5] Csak annyit jegyzünk meg, hogy egy napközben mintegy 20000 km^2-es területen, a Tiszántúlon napközben sem oszlott fel a köd. A természetes színű RGB kompozit műholdképen jól látható, piszkos fehéres árnyalatban, mely ködtakaró széle rendkívül éles átmenetet képez a felhő nélküli területek felé (13. ábra). A kora délutáni időszakban a korábbi 210 fokról fújó szél átfordult 130 fokra és 4-5 m/s átlagos lamináris áramlásként a szolnoki repülőtér (LHSN) felé mozgatta a korábban tőlünk távolodó ködöt.



13. ábra. A napközben megmaradt nagy kiterjedésű alacsony stratus/köd a Tiszántúlon a természetes színű RGB kompozit MSG-2 műholdképen, 2008.12.09. 12.10 UTC-kor. Jól látható a ködzóna rendkívül éles nyugati pereme! Forrás: OMSZ HAWK megjelenítő rendszer

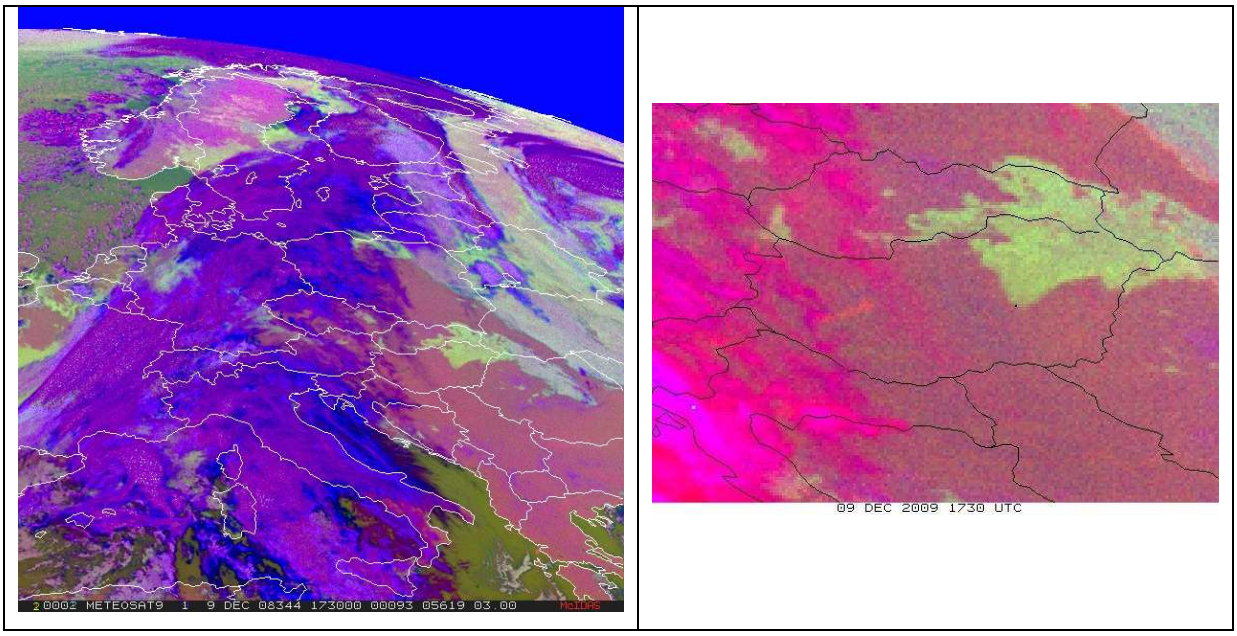
Ennek eredményeként a repülőtér északi látástávolság-mérő berendezése 16.00 UTC és 20 UTC között az alábbi értékeket mérte (14. ábra).



14. ábra. A szolnoki repülőtér (LHSN) északi látástávolságmérő berendezése által észlelt látástávolságok 2008.12.09-én 16.00 UTC és 20.00 UTC között. Forrás: [5].

A látástávolság drámai csökkenése 2500 méterről 300 méterre mintegy 3 perc alatt történt meg (közben zajlott a kiképzési repülés) és a köd megszűnése hasonlóan gyorsan játszódott le! A problémát a mozgó köd követése jelentette, hiszen szinoptikus állomás Szolnok környezetében kb. 100 km-es távolságra van és napnyugta után nem lehetett tudni hol a ködös terület határa.

A megnyugtató megoldást az éjszakai köd RGB kompozit műholdkép jelenthette volna, hiszen ezen a mozgó köd rendkívül jól észrevehető (halvány zöldes-fehéres árnyalatban), ahogyan ezt a 15. ábrán láthatjuk. 17.30-kor a látástávolság mindössze 300 méter volt. Ha ezek a kompozitok - akár 5 percenként is rendelkezésre álltak volna (MSG-1, RSS, Rapid Scan Service szolgáltatás EUMETCast műsorszórás) - az éjjel lappangó köd nyomon követése könnyen végrehajtható lett volna.



15. ábra. A 2008.12.09-én kialakult köd a Tiszántúl északi részén 17.30 UTC-kor az éjszakai köd RGB kompozit műholdképen. Balra: európai kivágat, jobbra: kinagyítva Magyarország és fekete pont jelzi a repülőteret (LHSN). Forrás: EUMETSAT.

ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban a meteorológiai műholdas produktumok számos típusa elérhető, akár közvetlen vétellel is (EUMETCast műsorszórás). Ezek közül az MSG-2 műhold RGB kompozit képei és egyéb származtatott produktumai különösen jól alkalmazhatók a repülésmeteorológiai analízisben és előrejelzésben, mert széles spektrumban szolgáltatnak információt a felhőzetről, a nedvességi viszonyokról és a konvektív folyamatokról, nagy térbeli és időbeli felbontásban.

Mindenképpen célszerűnek látszik ezeket a produktumokat a MH. Repülőcsapatainak meteorológiai csoportjainak rendelkezésére bocsátani, hogy munkájukat ezekkel a távérzékelési produktumokkal is elősegítsük. Ennek két lehetséges módját látjuk:

- az Országos Meteorológiai Szolgálat HAWK megjelenítő rendszerén keresztül közvetlenül eljuttatni a repülőterekre az említett produktumokat (hasonlóan, ahogy a jelenlegi műholdas produktumok rendelkezésre állnak);

- az adott repülőtéren megfelelő licensz megszerzése után saját EUMETCast műholdas vevőberendezés telepítése, majd a vett produktumokat helyben előállítani és integrálni a HAWK rendszerbe (ebben az esetben az OMSZ irányába nem kell járulékos sávszélességet lefoglalni).

Jelenleg folyik a szakmai és műszaki egyeztetés a fentebb említett lehetőségek megvalósítása érdekében, melyben a ZMNE Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszéke részéről a szerző is tevékenyen részt vállal.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző köszönetét fejezi ki Marianne Könignek a 2008.12.09-i éjszakai köd RGB kompozit képek előállításáért és rendelkezésünkre bocsátásért, valamint szakmai segítségéért. A ZMNE Repülésmeteorológiai Laboratórium 3 évre szóló EUMETCast oktatási-kutatási licenszéért az EUMETSAT-ot és az Országos Meteorológiai Szolgálatot illeti köszönet.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] SCHMETZ, J., PILI, P., TJEMKES, S., JUST, D., KERKMANN, J., ROTA, S., RATIER, A.: An Inroduction to Meteosat Second Generation (MSG). Bulletin of American Meteorological Society. 2002. July, 977-992.

[2] PUTSAY Mária és KOCSIS Zsófia: Az EUMETSAT által műholdadatokból származtatott légköri és felszíni paraméterek. Országos Meteorológiai Szolgálat kiadványa, Budapest, 2009.

[3] LENSKY, M and ROSENFELD, D: Cloud – Aerosols – Precipitation Satellite Analysis Tool (CAPSAT). Atmospheric Chemistry and Physics, Vol. 8., 2008, 6739-6753.

[4] ROSENFELD, D., WOODLEY, W., LERNER, A., KELMAN, G., LINDSEY, D.: Satellite detection of severe convective storms by their retrieved vertical profiles of cloud particle effective radius and thermodynamic phase. Journal of Geophysical Research. Vol. 113., D04208, 2008., 22 pp.

[5] TUBA Zoltán: Egy eseménytelen nap margójára, avagy egy ködadvekció tanulságai. Repüléstudományi Konferencia Konferencia Kiadvány, Szolnok, 2009/2.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Bozóki János

KORSZERŰSÍTÉS HATÁSA A HELIKOPTEREK TÚLÉLŐKÉPESSÉGÉRE

A Magyar Honvédségben rendszeresített helikopterek tervezési időszaka az 1960-70-es évekre tehető. Ennek megfelelően azok tervezési stratégiái is az akkori kor műszaki technológiai és diagnosztikai fejlettségét tükrözik. Napjainkban elfogadott katonai stratégiák elvárásainak azonban nem felelnek meg a rendszerben lévő helikopterek. Az ország gazdasági lehetőségeken múlik, hogy a XXI. század fegyveres konfliktusainak sikeres megvívásához a kor technikai színvonalát kielégítő technikai eszközökkel rendelkezzen a Magyar Honvédség. Ennek egyik módja a meglévő eszközök modernizációja. Jelen publikáció rövid áttekintést ad a helikopterek korszerűsítésének a túlélőképességre gyakorolt hatásairól.

Kulcsszavak: helikopter; korszerűsítés; túlélőképesség, Magyar Honvédség;

MODERNIZATION EFFECTS ON AIRCRAFT COMBAT SURVIVABILITY

Most helicopters in the Hungarian Defence Forces were designed in the 1960s and 70s. Accordingly, strategies of operating these aircraft reflect the level of engineering, technology and diagnostics of that era. However, these helicopters do not fulfill the expectations of present days' military strategies. The Hungarian Defence Forces' possibility to own the most up-to-date military technology to succeed an armed conflict in the 21st century is up to the economic potentials of the country. A good and feasible way is to modernize older aircraft. This publication is to give a brief summary of modernization effects on the survivability of helicopters.

Keywords: helicopter; Hungarian Defence Forces; modernization effects; survivability of helicopters.

Bevezetés

A Magyar Honvédségben rendszeresített helikopterek az elmúlt évezred technikai színvonalát képviselik. Ennek megfelelően azok tervezési stratégiái is az akkori kor műszaki technológiai és diagnosztikai fejlettségét tükrözik. A XXI. század viszont példátlan méretű, mélységű és jelentőségű változásokat hozott a hadviselés, a fegyveres küzdelem tekintetében. A megváltozott körülmények az aszimmetrikus hadviselés időszakában és új kihívások ellenére pontosan tudnunk kell, hogy a helikoptereink milyen műveletekben vesznek vagy esetlegesen vehetnek részt. Fontos kérdés melyek azok a követelmények, amelyeknek meg kell, hogy feleljenek a helikopterek. A feladatok, alkalmazási körülmények pontos ismerete nagymértékben befolyásolja, hogy melyek azok a képességek, amiket a korszerűsítés során el kívánunk érni. Mindenképpen lényeges kérdés hogy az eddigi konfliktusok tapasztalatai jelenjenek meg a korszerűsítés eredményeképpen.

A légijárművek korszerűsítése alatt a még rendszerben lévő, de régebbi géptípusok hadrafoghatóságának, repülőképességének harci túlélőképességének növelését, alkalmazhatóságának a kiszélesítését értem a legkülönbözőbb módszerekkel.

Jelen publikáció a mértékadó szakirodalmak alapján határozza, meg milyen feladatoknak kell megfelelni a helikoptereinknek. Ehhez melyek azok az elengedhetetlenül szükséges és elégséges korszerűsítési programok, amiket végre kell hajtani a harci túlélőképesség növelése érdekében.

Általános elfogadott és elvárt követelmény a haditechnikai eszközök vonatkozásában az hogy a műveletekhez azonos típusú és a típuson belül azonos modifikációjú helikopter legyen, illetve törekedni kell arra, hogy a hadműveleti területeken is a lehető legkevesebb típus és a típuson belüli változat legyen. A Magyar Honvédségben rendszeresített szállító helikopter modernizálása elkezdődött, ezért a korszerűsítési program kidolgozása előtt álló harci helikopterek korszerűsítésének a túlélőképességre gyakorolt hatását elemzem.

HARCI HELIKOPTEREK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGE A XXI. SZÁZAD KONFLIKTUSAIBAN

Az Európai Védelmi Ügynökség, az EDA (a továbbiakban: Ügynökség) minden évben konferenciát szervez, mely az adott évben az Európai Védelmi Ügynökség által a legfontosabbnak ítélt témákat dolgozza fel. A 2009. évi „EDA[1] Konferencia” – melyet március 10-én tartottak Brüsszelben – a „Helikopterek – Kulcs a Mobilitáshoz” címet viselte. A konferencia megrendezését az a tény tette szükségessé, hogy az Európai Unióban és a NATO-ban megnőtt az igény a helikopterek által megjelenített képességek növelésére. Emellett feladata volt még, hogy megfogalmazza azokat a teendőket, amelyek végrehajtásához a szükséges döntéseket az Ügynökség támogatásával előkészítik

[1] EDA= EDA – European Defence Agency- Európai Védelmi Ügynökség: Az Európa Tanács által 2004. július 12-én alapított szervezet. A szervezet feladata, hogy az Európai Unió tagországai érdekeinek megfelelően fejlessze az európai védelmi képességeket a jelen és a jövő kihívásainak megfelelően.

és meghatározzák. A konferencia feltárta azt a működési közeget, mely a helikopterképesség iránti igényt jelenti, és megfogalmazta azokat a kihívásokat a szükséges kapacitási nagyság biztosítása érdekében melyekre rövid, közép és hosszú távon választ kell adni.

Ebben a fejezetben röviden összefoglalom milyen, elvárások követelmények fogalmazott meg a konferencia.

Az EU és a NATO valamennyi misszióra jellemző, hogy a műveletekben – a siker érdekében – széles körben alkalmazásra kerülnek a helikopterek. Elsősorban azért, mert korlátlan rugalmassággal, mobilitással és gyors reagáló képességgel rendelkeznek, mely képességek nélkülözhetetlenek az extrém időjárási és földrajzi környezetben egyaránt. Például a hadműveleti terület nagysága Csádban akkora, hogy lefedi Franciaország felét. Ezen a területen, ahol az esős évszakban az utak hiánya állapota miatt a közlekedés, egyáltalán a helyváltoztatás lehetetlenné válik, csak a helikopterek tudják biztosítani a csapatok tevékenységét, túlélését, ellátását. Szintén kiemelt szerepük van a helikoptereknek a MEDEVAC[2] biztosításában.

Az Ügynökség középtávú terve a „MI" típusú helikopterek tervezett közös felújítása, modernizációja az afganisztáni telepítéshez. Itt mindenképpen meg kell jegyezni, hogy a rendszerben tartott helikopterek száma alapján nem lenne indokolt, hogy hiány legyen repülő eszközökből Európában. Azonban a valóság az, hogy ezeknek a helikoptereknek a zöme alkalmatlan arra, hogy az Európán kívüli térségbe telepítsék, illetve alkalmatlan arra, hogy a mai kor követelményei szerint, harci körülmények között, harcfeladatot hajtsanak végre vele.

A katonai vezetők jól tudják, hogy a helikopterek alkalmazása a különböző hadműveleti területeken igen sokrétűek lehetnek. Legyen szó anyag-, vagy személyutánpótlás gyors szállításáról, felderítésről, oltalmazási vagy közvetlen tűztámogatási feladatról,vagy végül, de nem utolsó sorban sürgős és azonnali evakuálásról.

Az idők változásával új körülmények, feladatok jelentek meg. Ahogy Henri Bentégeat tábornok, az Európai Unió Katonai Tanácsának Elnöke említette, napjaink műveleteiben fokozottan kell számolni a területen élő lakosság érzéseivel is, hatnunk kell a „szívükre és a gondolkodásukra" is. Ezért adott esetben nem mindegy, hogy az éjszakai égbolton nagy magasságban elrepül néhány helikopter, vagy pedig ugyanarra a feladatra egy felfegyverzett katonai menetoszlop vonul végig egy nagy forgalmú útvonalon. Különösen igaz ez napjaink aszimmetrikus műveleteiben, amikor nincsenek frontvonalak, az ellenség sokszor nem is látható.

A szárazföldön műveletet végrehajtó csoportok, alegységek tűztámogatása; tranzit utak, ellenőrző áteresztő pontok felügyelete; deszantolási körletek biztosítása hatékonyan, csak a gépágyúval, géppuskával, rakétákkal felfegyverzett repülő eszközökkel lehetséges. Ez különösen igaz napjainkban, amikor az aszimmetrikus vagy az utóbbi időben megjelent új kifejezéssel élve a „hibrid hadviselés" szabályai, esetenként szabálytalanságai közepette kell megvívni a harcot. Nagyon fontos, hogy a

[2] MEDEVAC = Medical Evacuation (Légi Egészségügyi Kiürítés)

rendelkezésre álló helikopterek képesek legyenek különböző konfigurációnak megfelelő feladatot végrehajtani.

Brit értékelés alapján a helikopter szerepe a XXI. században még tovább növekszik. Napjaink hadviselésére egyre inkább jellemző lesz a „Hibrid Hadviselés-, vagy Háború", melyre a sűrűn beépített és lakott városi környezet és a manőver szabadság lesz meghatározó. Ebben a környezetben a siker záloga lehet a helikopterek nagyfokú mobilitása, rugalmassága; gyors reagáló képessége; a csapatoknak (harcoló csapatoknak) nyújtott tűztámogatása, védelme [5].

Összességében megállapíthatjuk, hogy a helikopterek rendkívül értékes technikai eszközei a hadműveleti területnek. Az alkalmazás fő területei a logisztikai szállítások, MEDEVAC feladatok, tűztámogatási feladatok.

Ugyanakkor azt is kijelenthetjük, hogy napjaink konfliktusai földrajzi és klimatikus viszonyai jelentősen különböznek a megszokottól. Ez azt jelenti, hogy az ott alkalmazásra kerülő helikopter típusok rendkívül szélsőséges viszonyok között működnek.

Miután megfogalmaztuk a felhasználói igényeket vizsgáljuk meg repülő mérnök műszaki szempontok alapján milyen követelményeket támasztunk a harci helikoptereink korszerűsítésével szemben.

HARCI HELIKOPKOPTEREKKEL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK

Felmerül a kérdés, milyen szempontok figyelembevételével történjen a korszerűsítés mértékének és irányának a meghatározása. Ennek érdekében a harci helikopterekkel szemben támasztott követelményeket veszem számba.

A háborúk és fegyveres konfliktusok olyan tapasztalatokhoz juttatják a fegyver gyártókat, amelyekhez modellezett körülmények között egyáltalán nem, vagy csak nagyon nehezen juthatnak hozzá.

A harci helikopterek fejlesztése, a XX. század második felére tehető. A kor konfliktusainak tapasztalatai alapján kialakult egy egységesnek tekinthető követelményrendszer a harci helikopterekkel szemben [7].

Ennek megfelelően a korszerű harci helikopterekkel szemben támasztott követelmények:

1. manőver képesség – beleértve a légi harc megvívásának képességét, nem csak harci helikopterrel, szükség esetén merevszárnyú harci repülővel szemben is;
2. jól variálható, különböző feladatok végrehajtására alkalmas függeszthető fegyverzet alkalmazásának lehetősége;
3. korszerű avionikai jellemzők (navigációs, célzó-navigációs, kommunikációs stb.);
   a. komplex önvédelmi tulajdonságok;
   b. passzív páncél védelem;

c. lopakodó tulajdonságok;
   - speciális festés;
   - speciális kialakítás;
   - rejtett fegyvertér;
   - behúzható futómű;

d. aktív védelem;
   - infracsapda kivető;
   - besugárzásjelző;
   - rádiólokátor zavaró berendezés.

A felsorolt konstrukciós tulajdonságok önmagukban, vagy akár egy komplex rendszert alkotva még nem elegendőek ahhoz, hogy egy harci helikopter maradéktalanul megfeleljen a legmagasabb követelményeknek. Ehhez az is elengedhetetlen, hogy a beépített aktív és passzív védelme, a fegyverzete és minden egyéb rendszere megbízhatóan szolgálja azt a feladatot, amire a harci helikoptert tervezték. Hiába rendelkezik egy helikopter a legkorszerűbb, nagy pontosságú fegyverekkel, ha egyéb rendszerei, berendezései, vagy szerkezeti kialakítása pl. a forgószárnyak lövésállósága, vagy a berendezések páncélvédelme stb. nem teszik lehetővé, hogy huzamosabb ideig a levegőben maradjon.

A fentebb megfogalmazottaknak megfelelően felírhatjuk a harci helikopter általános hatékonysági kritériumát: [7]

A hatékonysági kritérium egy valószínűségi egyenlet mely összefüggésben szereplő elemi feltételes valószínűségek helyére, az eredményes feladat végrehajtás szempontjából legfontosabb mutatókat helyettesítjük be, akkor választ kaphatunk az adott harci helikopter hatékonysági mutatójára.

A valószínűségi egyenlet pontos ismertetését és a megoldási lehetőségeit a terjedelmi okokból nem ismertetem, a levonható következtetéseket és a gyakorlatban alkalmazható eredményeire szorítkozom.

Ha ezen összefüggésben szereplő elemi feltételes valószínűség helyére, az eredményes feladat végrehajtás szempontjából legfontosabb mutatókat helyettesítjük be, akkor a következő összefüggést kapjuk.

Vizsgáljuk meg, melyek ezek az elemi feltételes valószínűségek, melyek az egyes berendezések, rendszerek megbízhatóságát, a feladat végrehajtásának, a cél felderítésének stb. valószínűségét jellemzik.

1. A csapásmérő képesség, függ a cél felderítés, a felszíni célok leküzdésének és az ellenséges helikopterekkel vívott légi harc sikeres megvívásának valószínűségétől, valamint a fedélzeti fegyverek harcászat-technikai jellemzőitől, illetve a fegyvervezérlő rendszer hatékonyságától.
2. A túlélőképesség, (az eredményes önvédelem valószínűsége) függ a passzív és aktív önvédelmi rendszerek hatékonyságától, a lopakodó (stealth) jellemzőktől és a repüléstechnikai, harcászati eljárásoktól [6].

3. A műszaki megbízhatóság függ az üzemeltethetőségtől, (tábori körülmények között is) a technologizáltságtól, a diagnosztizálhatóságtól, a javíthatóságtól, a javításközi üzemidőtől, a két meghibásodás közötti repült időtől [1].

Természetesen a felsorolt három valószínűségi értéket még tovább lehet bontani, de ez nem befolyásolja azt, hogy a harci helikopter hatékonysági mutatója egyenes arányban van a műszaki megbízhatóság, a túlélés és a cél megsemmisítésének valószínűségével. Bármelyik jellemző kiemelésével és jelentős ráfordítással történő értéknövelése esetén sem fog a teljes hatékonysági mutató olyan mértékben emelkedni, hogy az meghatározó legyen. Ennél lényegesebb mindhárom kellően magas szintre emelése.

Amennyiben a világ vezető kutatási eredményeket és fejlesztési irányokat megvizsgáljuk, arra a következtetésre juthatunk, hogy az ezredforduló után hadrendbe állítandó harci helikoptereknek a következő pontokban felsorolt tulajdonságai lesznek a meghatározóak a tervezés során [7].

1. MANŐVER TULAJDONSÁGOK
2. FEGYVERZETI JELLEMZŐK
3. PASSZÍV ÉS AKTÍV ÖNVÉDELEM

A HARCI HELIKOPTEREK TÚLÉLŐKÉPESSÉG NÖVELÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

A harci helikopter túlélőképessége – itt elsősorban a harci túlélőképességet értem –legfőképpen a teljes repülőszerkezet, elsősorban a sárkányszerkezet kialakításától függ. Ehhez elengedhetetlenül szükséges a létfontosságú elemek megkettőzése esetleg árnyékolása, valamint a hatékony páncélvédelem. A helikopter berendezéseinek elhelyezését úgy kell megválasztani, hogy a létfontosságú avionikai berendezések, a berendezés tér (terek) belső részére kerüljenek és eléjük egy kevésbé fontos, vagy dublírozott berendezés kerüljön, így biztosítva az előbbi hathatósabb védelmét. Erre mindenképpen szükség van, mert tömeg és hatékonysági okok miatt nincsen lehetőség a teljes helikopter páncélvédelmére. Viszont azokon a területeken ahol a páncélvédelem biztosított, a védelem szintjének meg kell felelni a következő általános elvárásoknak: [7]

1. a védett zónákban a páncélzatnak el kell viselnie a 23 mm-es gépágyú lövedékek közvetlen találatát; a pilótafülke páncélüvegezése el kell, hogy viselje a kézi lőfegyverek, maximum 12,7 – 14,5 mm-es lövedékeinek közvetlen becsapódását, valamint a 23 mm-es gépágyú lövedék repesztalálatait;
2. a hajtóművek elhelyezése (kölcsönös helyzete) olyan legyen, hogy egyetlen találattal ne lehessen üzemképtelenné tenni mindkettőt;
3. a forgószárny lapátok szintén nagy lövésállóságúak legyenek, aminek a szálerősítésű, kompozit anyagok felelnek meg a legjobban.

A mai korszerű harci helikopterek aktív és passzív önvédelme biztosítja az avionikai eszközök, elsősorban a kommunikációs és a célzó-navigációs komplexumba tartozó eszközök zavarvédettségét. Ehhez elengedhetetlenül szükségesek a különböző besugárzásjelző berendezések, melyek közül a korszerűbbek az ellenség eszközei által kisugárzott EMH[3] hullámhosszától és jellegétől függően figyelmeztethetik a helikoptervezetőt az eszköz veszélyességi szintjére. Például: lokátor felderítő üzemmódban kevésbé veszélyes szintet jelent, mint ugyanez a lokátor célkövetési, vagy rakéta rávezetési üzemmódban. Szükség esetén legyen lehetőség valamilyen ellentevékenység végrehajtására pl.: infracsapda, vagy dipólkivetésére.

A túlélőképességhez hozzátartozik a tűz és robbanás megelőzése is. A helikopternek rendelkeznie kell hajtóműtérbe beépített, automatikusan működő tűzoltó-berendezéssel. Célszerű, ha a robbanás elkerülése érdekében az üzemanyag tartályok túlnyomásos rendszere semleges gáz befúrással működik, illetve a tartályok valamilyen rugalmas, esetleg „önforrasztó" anyagból készülnek, melyek találat esetén minimálisra csökkentik az üzemanyag elfolyást. [7]

A helikopternek mind a hajtóművét, mind pedig az avionikai berendezéseit konstrukciósan fel kell készíteni különböző földrajzi helyeken, bármilyen időjárási viszonyok között történő üzemeltetésre. Ennek megfelelően a hajtóműve rendelkezzen por elleni védelemmel, illetve hatékony hűtőrendszerrel, valamint az egyik hajtómű üzemképtelenné válása esetén legyen képes folytatni a repülést és biztonságban leszállni. Ebből következik, hogy repülésbiztonsági szempontból mindenképpen a két hajtóműves változatot kell előnyben részesíteni. Mind a helikopter, mind pedig a személyzet túlélőképessége érdekében fontos, hogy a helikopter fülkéje hermetizált legyen az ABV[4] fegyverek elleni védelem érdekében, ami természetesen együtt jár a túlnyomásos fülke kialakításával, klimatizálásával, ami a személyzet komfortérzetét növeli, és így nagymértékben befolyásolja a harci feladat végrehajtásának minőségét. A harci helikopterek túlélőképességét nem csak az a passzív védelem befolyásolja, amelyik a már felderített helikoptert megvédi a találatok esetén, illetve a már találatot kapott helikopter esetében biztosítja a személyzet túlélését, hanem a helikopter olyan speciális kialakítása, amely csökkenti a felderítés lehetőségét. Ezt befolyásolja a helikopter geometriai mérete és egyéb konstrukciós kialakítása is.

HARCI HELIKOPTEREK MEGSEMMISÜLÉS ELLENI VÉDELEME

A legkorszerűbb gyártási technológia, beépített eszközök, repüléstechnikai eljárás sem eredményezhet a 100 %-os repülésbiztonságot, vagy harci túlélő képességet. Ezért a helikoptereket fel kell szerelni a mechanikai behatásoktól (ütközés, találat, lezuhanás, stb.) legalább a személyzetet megvédő szerkezeti elemekkel, berendezésekkel.

1. Preventív megoldások

[3] EMH= elektromágneses hullám
[4] ABV = Atom, Biológiai, Vegyi

2. A helikopter-személyzet lezuhanás elleni védelme

A harci helikopterek leginkább akkor veszélyeztetettek, amikor az ellenséges légvédelem zónájában, földközeli magasságban kell repülniük maximális, vagy minimális sebességgel Ilyenkor a repülőeszköz üzemképtelenné válása esetén, autorotációval történő leszállásra nincs reális esély. A katapultálás elvben megvalósítható, létezik is már ilyennel felszerelt harci helikopter, de ez legalább annyi bizonytalanságot hordoz, mint az autorotáció.

A harci helikopterek ellenséges megsemmisítő eszközökkel szembeni legbiztosabb védelmét a prevenció, a megsemmisítés folyamatából már a felderítés, célzás megakadályozása jelenti, így ha harcfeladat közben a helikopter még is lezuhan, úgy a benne tartózkodók számára legbiztosabb védelmet, a sárkány erre való alkalmassá tétele jelenti. [2]

A következőkben vizsgáljuk meg hogy az előző fejezetekben elemzett elméleti feltevések mennyire jelennek meg a mindennapi élet síkjaiban.

GYAKORLATI PÉLDÁK HARCI TÚLÉLŐKÉPESSÉG NÖVELÉSÉRE

A Német Hadsereg 40 VFW-Sikorsky CH-53G típusú helikopterein átfogó korszerűsítési programot hajt végre. A korszerűsített helikopter új típusjelzése CH-53GA. A korszerűsítés alapján a beépítésre kerülő új rendszerek és a főbb szerkezeti változtatások az alábbiak:

- megnövelt teljesítőképességű navigációs készlet, beleértve az IFR (műszeres repülési előírások szerinti repülés) biztosítását és egy polgári repüléskezelési rendszert;
- megnövelt teljesítőképességű repülésvezérlő rendszer és robotpilóta, ami magába foglalja az automatikus függési üzemmód biztosítását;
- megnövelt belső tüzelőanyag kapacitás kialakítása;
- új fedélzeti önvédelmi készlet, amely tartalmazza a radar és lézer besugárzásra, valamint a rakéta közeledésre figyelmeztető és az ellentevékenységet biztosító rendszereket. [3]

Az U.K. 2009 májusig négy AgustaWestland/Boeing WAH-64D Apache AH.1 támadó helikoptert tervez telepíteni Afganisztánba. A helikopterek a Lockheed Martin cég MTADS/PNVS (Modernised Target Acquisition Designation Sight/Pilot Night Vision Sensor) rendszerével vannak felszerelve. Ez a rendszer egy modernizált célbefogó célkijelölő irányzékból és a helikoptervezető számára az éjszakai látást biztosító szenzorból áll. Rendeltetése az, hogy növelje a gépszemélyzet helyzetismeretét, s képessé tegye a helikoptervezetőt a terepkövető műveletek végrehajtására függetlenül a környező megvilágítási és látási viszonyoktól.

A rendszer különösen hasznos abban, hogy segíti a pilótát az ú.n. „brownout” jelenség hatásainak elhárításában. A „brownout” jelenség lényege az, hogy a helikopter le és felszállási fázisában a forgószárny által lefelé irányított intenzív levegőáramlás fölveri a földről a homokot, port és a törmeléket, s a helikopter az ezen anyagokból álló – vizuális látás számára áthatolhatatlan – felhőbe kerül, ami ahhoz vezet, hogy a helikoptervezető elveszíti a térbeli tájékozódás lehetőségét. [4]

Természetesen a technika technológiák fejlődése nyomon követhető, de nehezen megvalósítható. A leggazdagabb országok a szuperhatalmak, amelyek hadseregei rendelkeznek a kor színvonalát képviselő eszközökkel. A fejlődési tendenciák azonban a Magyar Honvédség légijárművein is érzékelhetőek. Jól példázza ezt a törekvést a Mi-17N (nocsnoj) helikopter.

Ez a néhány példa jól mutatja, hogy az elmélet, ami gyakorlati tapasztalatok alapján született rövid időn belül nem csak a tervező asztalokon jelenik meg, hanem a műveleti területen is.

Konklúzió

Az előző fejezetekben meg lett fogalmazva, hogy a helikopterek rendkívül értékes technikai eszközei a hadműveleti területnek. Az alkalmazás fő területei a logisztikai szállítások, MEDEVAC feladatok, tűztámogatási feladatok.

Ugyanakkor azt is kijelenthetjük, hogy napjaink konfliktusai földrajzi és klimatikus viszonyai jelentősen különböznek a megszokottól. Ez azt jelenti, hogy az ott alkalmazásra kerülő helikopter típusok rendkívül szélsőséges viszonyok között működnek.

Elmondható tehát, hogy a korszerűsítési programok megtervezésénél ezen tényezőket a legmesszebbmenőkig figyelembe kell venni.

Láthattuk, hogy a harci helikopterek korszerűsítési programjai során az önvédelmi képességeket sem szabad figyelmen kívül hagyni, mert egy korszerű repülőgép hiába rendelkezik effektív megsemmisítő eszközökkel, ha kézi fegyverekkel egyetlen lövéssel harcképtelenné tehető.

A legkorszerűbb gyártási technológia, beépített eszközök, repüléstechnikai eljárás sem eredményezhet a 100 %-os repülésbiztonságot, vagy harci túlélő képességet.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Békési Bertold: A katonai repülőgépek üzemeltetésének, a kiszolgálás korszerűsítésének kérdései Doktori (PhD) értekezés, Budapest, 2006.

[2] Dr. Óvári Gyula BIZTONSÁG- ÉS REPÜLÉSTECHNIKIAI MEGOLDÁSOK KATONAI HELIKOPTEREK HARCI TÚLÉLŐKÉPESSÉGÉNEK JAVÍTÁSÁRA Repüléstudományi Közlemények FÉL ÉVSZÁZAD FORGÓSZÁRNYAKON A MAGYAR KATONAI REPÜLÉSBEN Különszám 2005.04.15. 1-15 oldal http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2005_cikkek/ovari_gyula.pdf 2009-11-22, 1-15 oldal5

[3] Edward A, CH-53GA helicopters engineering, technology and diagnostics of in the 21st century: AVIATION WEEK & SPACE TECHNOLOGY 2009. 02. 16. 32. oldal

[4] Greg H, Modernized Apache AH.1 battle helicopters in Afghanistan: AVIATION WEEK & SPACE TECHNOLOGY, 2008. 21., 28. oldal

[5] OROSZ ZOLTÁN vezérőrnagy: HELIKOPTEREK KULCS A MOBILITÁSHOZ (EMLÉKEK,GONDOLATOK EGY KONFERENCIÁRÓL) SEREG SZEMLE AZ MH ÖSSZHADERŐNEMI PARANCSNOKSÁG SZAKMAI-TUDOMÁNYOS FOLYÓIRATA HU ISSN: 2060-3924 VII. évfolyam, 3. szám, 2009. július-szeptember 43-47oldal

[6] Stoiner, Roger A: Stealth alrcraft technology from world war II. to the Golf SAMPLE JOURNAL, 1991/5., 9-18.oldal

[7] Szilvássy László: A HARCI HELIKOPTEREK FEGYVERRENDSZERÉNEK MODERNIZÁCIÓS LEHETŐSÉGEI A MAGYAR HONVÉDSÉGBEN Doktori (PhD) értekezés Szolnok 2008 ZMNE KMDI, 21-22. oldal

Dr. Csutorás Gábor nyá. mk. alez.

A REPÜLŐTÉRI NAGYTELJESÍTMÉNYŰ TŰZOLTÓ GÉPJÁRMŰ

A C-17 (Globemaster III) repülőgépflotta Pápa bázisrepülőtéren történő településének tűzoltó biztosítási körülményeiről 2008 áprilisában volt lehetőségem ugyanezen a fórumon nyilatkozni. Akkori írásomban a NATO stratégiai légiflotta hazánk pápai repülőtérről való tervezett működtetését a Magyar Honvédségben jelentkező új kihívásként aposztrofáltam[1].

Napjainkra az akkori jövő, valósággá vált. Ugyanúgy valósággá vált a tűzvédelmi biztosítás terén az előre jelzett 8-as repülőtéri tűzvédelmi kategória, amit a C-17 méretéből határoztam meg. Ezzel egy időben megvalósult a kategóriára jellemző, a kritikus terület elvének alkalmazásával kiszámított tűzoltó kapacitás is.

Az említett publikáció befejezéseként azt a javaslatot tettem, hogy: *„A megoldás tehát két új repülőtéri tűzoltó gépjármű beszerzése, amely nagyobb kapacitású (minimum 12000 liter) tartállyal rendelkezik. Az erre vonatkozó elképzelések kialakításra kerültek, a beszerzés tervezése már folyamatban van."* Ezeknek a járműveknek a rendszerbe állítása teszi lehetővé a célként kitűzött tűzvédelmi képességek elérését.

Írásomban javaslataim megvalósulása szemszögéből szeretnék beszámolni az eltelt időszak fontosabb eseményeiről. Be kívánom mutatni a rendszeresítési eljárás alatt lévő repülőtéri nagyteljesítményű tűzoltó gépjárművet, és ízelítőt nyújtanék a jövőbeni tervekről.

AZ ESEMÉNYEK

Talán emlékszünk még rá, hogy Pápa Bázisrepülőtéren a 8-as tűzvédelmi kategória elérését megközelítőleg egy éven belül kellett megvalósítani. Ebből adódóan a program tervezésekor a kritikus keresztmetszetnek, a rendelkezésünkre álló idő bizonyult. Tekintettel a megoldandó feladatok egymásra épültségére, három fő területre összpontosítottunk.

A tűzoltó alegység szervezeti struktúrájának kialakítása

A későbbiekben ismertetésre kerülő okok miatt, a legsürgősebb teendő Pápa Bázisrepülőtér tűzoltó szervezetének a jogszabályoknak megfelelő létszámú és felépítésű alegységgé történő átalakítása volt. A szervezeti struktúra kidolgozása az új, nagyteljesítményű repülőtéri tűzoltó gépjármű figyelembe vételével történt. Előre látható volt azonban, hogy a jármű rendszeresítése várhatóan a C-17 típusú

[1] Csutorás Gábor: A stratégiai légiflotta tűzvédelmi aspektusai Pápa Bázisrepülőtéren (Repüléstudományi Közlemények 2008.)

repülőgépek bázisról való üzemeltetésének megkezdése után fog megvalósulni. Ezért, a tervezés során egy úgynevezett átmeneti időszakot kellett a folyamatba illeszteni. Ez alatt az időszak alatt a 8-as kategóriát megnövelt létszámmal és tűzoltó gépjárművekkel valósítottuk meg. A szükséges erőforrást más katonai repülőterek tűzoltó állományából történő vezényléssel tudtuk biztosítani. Az alegység jóváhagyott állománytáblája alapján a személyügyi szervek megkezdték az előírt kompetenciával rendelkező állomány beosztásba való felvételét és helyezését. Az új struktúrának megfelelő feltöltést, a terveknek megfelelő időpontra befejezték.

A kiképzés

2007. január 01.-től a Magyar Honvédségben szolgálatot teljesítő tűzoltók 118/1996. (VII. 24.) kormányrendelet[2] hatálya alá való kerüléssel főfoglalkozású létesítményi tűzoltóknak számítanak. A főfoglalkozású létesítményi tűzoltók szakmai képzési követelményeit a 10/2008 (X. 30.) ÖM rendelet[3] határozza meg. A rendeletben előírt képzési, felkészítési követelményeknek kell megfelelni a katonai tűzoltóknak is ugyanúgy, mint a hivatásos önkormányzati tűzoltóság tagjainak. A rendelet tűzoltó szakképesítést ír elő. A tűzoltó szakképzés 2x2 hónapos tanfolyami képzés. Pápa bázisrepülőtéren ezért a teljes tűzoltó állomány számára C-17 programhoz kapcsolódóan a felkészítés céljából az FLÜ által biztosított 13 MFt. képzési költséggel végrehajtottuk a Veszprém Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság szervezésében 62 fő tűzoltó 4 hónapos OKJ-s tűzoltó szakképzését.
A tanfolyam befejezése után a vizsgáztatást az ÖM Katasztrófavédelmi Oktatási Központ hajtotta végre. Az elvégzett tanfolyam segítségével tűzoltó katonáink ugyanazzal az ismeretekkel rendelkeznek, mint a hivatásos önkormányzati tűzoltók.

Katonáink azonban egy katonai repülőtéren teljesítenek szolgálatot. A repülőtéri tűzoltó alegység rendeltetése, hogy folyamatos készenléti szolgálat biztosításával légijármű balesetek esetén mentse a légijármű személyzetét és az utasokat, valamint oltsa el a keletkezett tüzet. A jelzett feladatok végrehajtásához szükség van speciális repülőtéri tűzoltó ismeretekre és gyakorlatra, ezért a bázisrepülőtér frissen végzett állományának ráépülő képzését is végre kellett hajtani. Ezt a ZMNE BJKMK RLI[4] Szolnokon szervezett szaktanfolyamaival tudtuk biztosítani. A korábban a tanfolyam anyagában nem szereplő, a C-17 programhoz kapcsolódó követelményeket be kellett dolgozni a repülőtéri speciális tűzoltó szaktanfolyam kiképzési tematikájába.

A C-17 program keretében 05.20.-22-ig az USA Ohio Nemzeti Gárda tűzoltó szakemberei voltak, akik a bázisrepülőtér tűzoltó állományát elméleti és gyakorlati foglalkozásokon felkészítették a C-17 típusú repülőgép tűzoltási és vészhelyzeti mentési eljárásaira.

[2] A létesítményi tűzoltóságokra vonatkozó részletes szabályokról szóló 118/1996. (VII. 24.) kormányrendelet
[3] A tűzoltóságoknál, valamint az ez irányú szakágazatban foglalkoztatottak szakmai képesítési követelményeiről és szakmai képzéseiről szóló 10/2008 (X. 30.) ÖM rendelet
[4] Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bólyai János Katonai Műszaki Kar Repülő és Légvédelmi Intézet

A résztvevők megismerkedtek a balesetet szenvedett repülőgép megközelítésének szabályaival, begyakorolták a szabályos és erőszakos behatolás módjait, elsajátították az utasok, valamint a gépszemélyzet mentésének szabályait, fogásait, a repülőgép oltásának sajátosságait.

A képzések sorát az új tűzoltógépjármű kezelésére vonatkozó képzés zárta. A tűzoltó gépjárműveket szállító Rosenbauer céggel kötött megállapodás alapján, az abban szereplő tematikának megfelelő tanfolyamon vettek részt tűzoltó katonáink. Mivel az új tűzoltó gépjárművek üzemeltetésének elengedhetetlen feltétele, hogy a kezelők megfelelő ismeretet és jártasságot szerezzenek a jármű és szakfelszerelése kezelésére, karbantartására vonatkozóan, a gyártó által biztosított oktató elméleti és gyakorlati tanfolyamon készítette fel a bázis tűzoltó állományából a későbbi oktatókat. Ezután a tanfolyam eredményes elvégzéséről hiteles dokumentummal rendelkező oktatók hajtották végre a teljes állomány felkészítését az új típusú tűzoltó gépjármű üzemeltetésére.

A felsorolt képzések, felkészítések segítségével Pápa Bázisrepülőtér tűzoltó állománya megszerezte azokat a követelményeknek megfelelő kompetenciákat, amelyek lehetővé teszik a repülőtér folyamatos 8-as tűzvédelmi kategória biztosítását, ezáltal a C-17 szállító repülőgép típusnak a repülőtérről való üzemeltetését.

A felkészítés folyamatának azonban itt még nem értünk a végére. Június hónapban fogjuk végrehajtani az MH Pápa Bázisrepülőtér teljes tűzoltó állományának osztályba soroló vizsgáztatását, amit a 72/2009. (VIII. 28.) HM utasítás[5] ír elő, technikai eszközökben történt lényeges változás esetére.

A tűzoltó gépjármű harcászati-műszaki követelményei

A harmadik fő terület, amelyre tevékenységünket összpontosítottuk, a kategóriát biztosító új tűzoltó gépjármű volt. A legfontosabb feladatot a jármű harcászati műszaki követelményeinek összeállítása jelentette. A kijelölt szakmai munkacsoport a követelmények összeállításánál az érvényben lévő jogszabályokra - beleértve a hazai, az ICAO és a NATO STANAG ajánlásokat, előírásokat - támaszkodott. A harcászati műszaki követelmények képezték az új típusú nagyteljesítményű repülőtéri tűzoltó gépjárművek beszerzésének alapját.

A TŰZOLTÓ GÉPJÁRMŰ

A meghirdetett pályázaton a Rosenbauer International Aktiengesellschaft terméke szerepelt eredményesen.

Az új tűzoltó gépjármű nomenklatúra szerinti megnevezése:

Nagyteljesítményű repülőtéri tűzoltó gépjármű

Típusa:

Panther 6x6 CA5 FLF12500/1500/250

[5] 72/2009. (VIII. 28.) HM utasítás az osztályba sorolás rendjéről

Szabvány szerinti megnevezése:

Oltó gépjármű EN 1846-1 S-3-4-12500-10/7000-1

1. ábra Panther 6x6 CA5

Az ábrán látható tűzoltó gépjárműről nyugodtan kijelenthetjük, hogy európai mércével mérve az egyik legmodernebb repülőtéri tűzoltó eszköz. Fontos ez azért is, mert a tűzoltó eszközöket, járműveket általában húsz éves rendszerben tartással számolva rendszeresítjük.

A jármű 3 tengelyes alvázra van szerelve, terepjáró képességgel rendelkezik. Méreteiből adódóan nehéz tűzoltó gépjármű.

Hossza: 11750 mm

Szélessége: 3000 mm

Magassága: 3820 mm

Hajtási mód: 6 x 6

Vezetőfülke: 1 + 1 + 2 (+2) fő

Jármű összsúly: 36000 kg

Rézsűszög: Elöl: 30^{o}

Hátul: 30^{o}

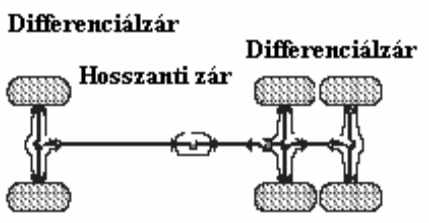
Rámpaszög: 24^{o}

Típus: RBM 36.705 LHD

Motor: CAT C 18 Euro 3

Teljesítmény: 518 kW, 2300 ford/perc-nél

A jármű a vezetőfülkéből kapcsolható, és csúszós úton a meghajtás javítására szolgáló hosszanti és keresztirányú differenciál zárakkal rendelkezik.



2. ábra A differenciálzárak

A 705 LE-s Caterpillar motor, tulajdonképpen egy erőgép motorja. Szükséges ez azért, mert a jármű javarészt állóhelyben üzemel, amikor is a tartályban lévő vízből és habképző anyagból oltóhabot képez és nagyteljesítményű szivattyújával az égő felületre juttatja.

A jármű 4 fő részére biztosít ülőhelyet a kezelőfülkében. 5 sebességes automata sebességváltóval rendelkezik. Az erős motor segítségével saját mérések alapján 28 sec alatt gyorsul 0-ról 80 km/órás sebességre. Végsebessége 125 km/óra felett van. Ezek az értékek akkor jelentenek valamit, ha tudjuk, hogy a Panther 6x6 repülőtéri nehéz tűzoltó gépjármű, és mint ilyennek a szabványok alapján 45 sec alatt kell 0-ról 80 km/órás sebességre gyorsulnia. A repülőtéri gyorsbeavatkozók képessége a 25 sec alatti gyorsulás ugyanerre a sebességre. Bőven van tehát erőtartalék a járművünkben. A vezetőfülke légkondicionált, megtalálható benne a rádió berendezés, az ülések háttámlájában elhelyezett légzőkészülék tartó úgy van kiképezve, hogy az ülésben helyet foglaló könnyen magára vehesse azt. Minden személy részére a járműben lévő rögzített töltővel ellátott akkumulátoros lámpa van biztosítva.

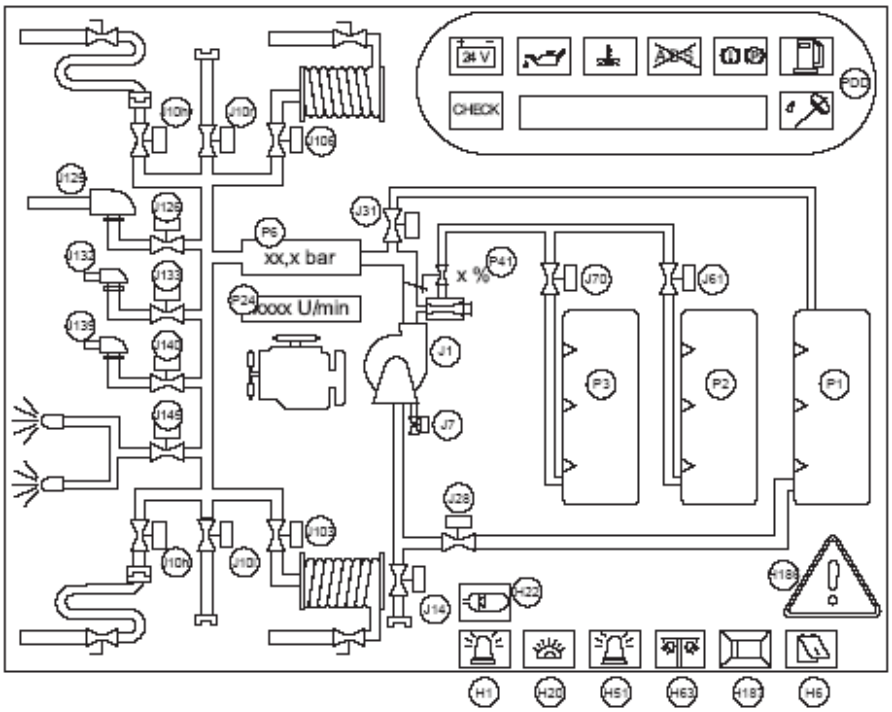
Mi a helyzet a tűzoltó gépjármű szakfelépítményével?

Az első és legfontosabb, hogy a jármű víztartálya 12500 literes. A habbaloltáshoz szükséges habképző anyag 1500 l külön tartályban van elhelyezve. Ez a habképző anyag mennyiség lehetővé teszi a víztartály kétszeres mennyiségének felhasználását, újratöltés nélkül, ami gyorsítja a jármű ismételt bevetését, illetve kiürült víztartály esetén külső vízforrásból habbal való üzemeltetést tesz lehetővé. A habanyag keverési rátái 1%, 3%, 6%, 8% lehetnek. A keverési pontosság 10%on- belül van, ami 7000 l/perces kibocsátásig megfelel a nemzetközi előírásoknak.

A második legfontosabb ismérve a járműnek, az oltási teljesítmény. A nagyteljesítményű szivattyú, amelynek légtelenítése gombnyomásra történik mintegy 2 perc alatt képes a teljes vízmennyiséget az égő felületre juttatni. Ennek leghatásosabb eszköze, a jármű elején a tetőre szerelt monitor, amelynek hatótávolsága meghaladja a 70 m-t. A monitoron az oltóanyag kijuttatása a vezetőfülkéből joystickal történik. (3. ábra) Ugyanonnan vezérelhető a szivattyú teljesítménye, valamint a sugárkép is. Ha nincs szükség a tetőágyúra, a jármű elején található úgynevezett orrmonitorral tehető meg ugyanez, szintén vezérlőkar segítségével.

3. ábra A különböző monitorok vezérlőkarjai

Egyébként a jármű szakfelépítménye számítógépes vezérléssel a vezetőfülkéből akár a gépjárművezető által, vagy a baloldali málhatérből egy fő kezelő által működtethető. A működtető mechanika, elektronikusan, levegővezérléssel, valamint hagyományos szelepek általi kézi vezérléssel működik.



4. ábra A vezérlés folyamatábrája

5. ábra A kezelőtérben lévő vezérlőpult

A vízzel és habbal való oltásra a jármű baloldali málhaterében elhelyezett gyorsbeavatkozó használatával is lehetőség van. A tömlődobra tekert tömlő 30 m és a sugártávolsága is eléri a 30 m-t.
Az állóhelyi üzem (STATIONARY OPERATION) lehetőségén felül a repülőtéri tűzoltó járművek esetében ma már elterjedt, a menet közbeni oltási lehetőség (PUMP&ROLL) üzem, amely a mellékhajtás (szivattyú) elindítását jelenti a mozgásban lévő gépjárművön. Ez esetünkben minden áttételi és sebességi tartományban elérhető.

A jól elkészített harcászati-, műszaki követelményeknek köszönhető, hogy a Panther nem csak vízzel és habbal oltásra alkalmas, hanem porral oltásra is. Mégpedig 250 kg por található a járművön kiegészítő oltóanyagként. A porral oltó berendezés a jármű jobboldali szivattyúterében van beépítve. A porral oltó berendezés egy a jobboldali málhatérben elhelyezett tömlőről lecsévélhető gyorsbeavatkozó segítségével működik. Ezen felül, egy porral működtethető orrágyú van felszerelve a jármű elején. A por sugártávolságok meghaladják a 30 m-t.

Megemlítendő még a jármű önvédelmi rendszere, amelynek segítségével magas hőmérsékletű környezetben, tüzek közelében is tud működni. A jármű előtti, alatti területek, a nagy kiterjedésű üvegfelületek, és a karosszéria hűtésére több csonk lett kialakítva, melyek működtetése a vezetőfülkéből gombnyomásra történik. A jármű önvédelmi rendszerének hatékonyságát mutatja a 480 l/ perc körüli vízfelhasználás.

A szakfelépítményhez tartoznak a különféle mentőberendezések, kisgépek, amelyek repülőbalesetek során a mentéshez szükséges műszaki munkálatokat, például a gépbe történő behatolást, valamint a sérültek elsősegélyben történő részesítését, mozgatását, szállítását segítik.

Ilyenek például a feszítő-vágó, amelyből a Weber-Hydraulik Akku-Vario SPS 330A van készletezve. A jármű málhaterében elhelyezett töltőrendszerre csatlakoztatott akkumulátoros készülék,

amely 700 bar üzemi nyomáson dolgozik, feszítőtávolsága 330 mm, húzótávolsága 400 mm, csapszegvágó vágóereje 270 kN.

Málházásra került egy Husqvarna 372XP benzinmotoros fűrész is, valamint egy Husqvarna 300-350 mm tárcsaátmérőjű benzinmotoros daraboló.

A füsttel telt utasterek, rakterek szellőztetésére, a sérültek, beszorultak levegőellátásának biztosítására szolgál, a 65000 m^3/óra effektív levegő teljesítményű Fanergy V 24 típusú nyomóventilátor.

A repülőeszköz alkatrészei, a szállított teher megemelésére, bejutáshoz szükséges nyílások kiszélesítésére szolgála a Vetter emelőpárna készlet.

A málházott eszközök között találhatók még speciális létrák, mentő és elsősegélynyújtó felszerelések, hordágyak, univerzális szerszámok, mint például a Force balta. stb.

FELADATOK

A történetnek azonban még nem ez a vége. Végre kell hajtani a jármű haditechnikai ellenőrző vizsgálatát, a csapatpróbát, valamint a rendszeresítési eljárást. Ezek befejezése után kerülhet sor a nagyteljesítményű repülőtéri tűzoltó gépjármű szolgálatba állítására.

Be kell fejeznünk a Bázisrepülőtér teljes tűzoltó állományának kiképzését az új típusú járműre. A kiképzés eredményességét le kell ellenőrizni, amire az évente esedékes osztályba soroló vizsgán van lehetőség.

Az ICAO előírásoknak megfelelő szolgálati körülmények kialakításához a tűzoltó szertár átépítése is szükségessé vált. A nagyteljesítményű repülőtéri tűzoltó gépjárművek méreteikből adódóan nem férnek be a korábbiakban kialakított gépjármű állóhelyekre. Ezen kívül a meg növekedett létszámú tűzoltó állomány elhelyezéséről, szolgálati és munkakörülményeiről is gondoskodni kell, ami a tűzoltó állomás (szertár) felújítását, kibővítését jelenti. A jóváhagyott tervek szerint Pápa Bázisrepülőtér egy teljes mértékig ICAO előírásoknak megfelelő szertárral fog rendelkezni. Az építkezések jelenleg is folynak, várható befejezésük ideje 2010. május.

A tűzoltó járművek beavatkozási idejének csökkentése érdekében szükségessé vált a vonulási útvonal lerövidítése a tűzoltó szertár és a futópálya között. Ez egy új szervizút megépítésével fog megvalósulni. A szerviz utat csak a tűzoltó gépjárművek használhatják.

Az új jármű és a felsorolt folyamatban lévő változtatások szükségessé teszik a tűzoltó készenléti szolgálat készenléti fokozatoknak megfelelő készenléti helyeinek felülvizsgálatát abból a célból, hogy az előírt időnormákon belül be tudjanak avatkozni. Az új felállítási helyek megállapítása a gyorsulási, végsebességi és vonulási idők gyakorlati úton történő mérése után történhet meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] MSZ K 1123 Katonai repülőterek tűzvédelme (2006)
[2] Alváz kezelési utasítás Rosenbauer FLF Panther 6x6 CA_5 (17.07.2006/Rev. 01/SFS3-DWi)
[3] Kezelési utasítás repülőtéri tűzoltó gépjármű FLF 12500/1500/250 Rosenbauer Panther 6x6 CA-5
[4] ICAO ANNEX 14/I. 9.2. Tűzoltó és mentő szolgálat (1. kötet 4. kiadás 2004)
[5] NFPA 403: Standard for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Services at Airports (Edition 2003)
[6] STANAG 3712 CFR– Airfield Rescue and Fire-fighting Services Identification Categories (Edition 6)
[7] Csutorás Gábor: A stratégiai légiflotta tűzvédelmi aspektusai Pápa Bázisrepülőtéren (Repüléstudományi Közlemények 2008.)

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dudás Levente – Varga Lajos

MASAT-1 COM – AZ ELSŐ MAGYAR MŰHOLD KOMMUNIKÁCIÓS ALRENDSZERE

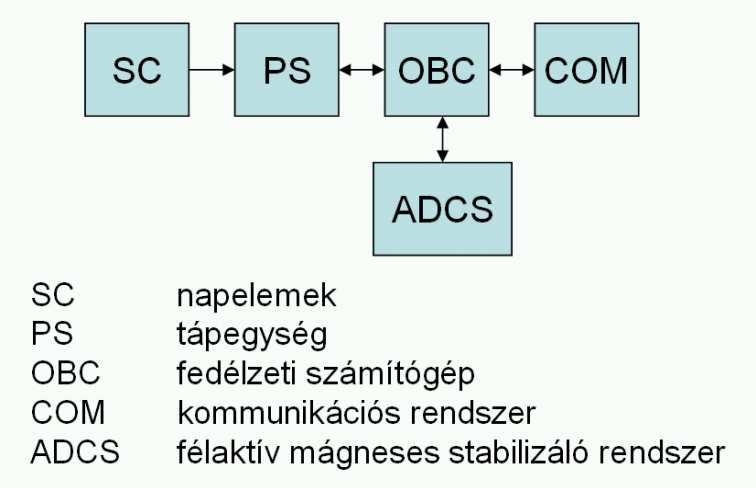
BEVEZETÉS

Az első magyar műhold – MaSat-1 – fejlesztése 2007-ben kezdődött a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán. A hallgatói kezdeményezést az Elektronikus Eszközök valamint a Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék karolta fel. A MaSat-1 az első olyan önálló űreszköz, amelyet a tervezés első lépéseitől kizárólag magyar mérnökök illetve mérnökhallgatók terveznek és építenek. A műholdküldetés célja egyrészt tudományos-technikai demonstráció, másrészt az űrkutatás népszerűsítése az oktatásban és a kapcsolódó területeken. A projekthez kapcsolódóan több tantárgy is indult az egyetemen (Űreszközök fedélzeti rendszerei és Űrtechnológia), valamint a hallgatók önálló laboratóriumi illetve diplomadolgozatot is készítettek a tárgyban.

A Masat-1 kisműhold a műholdak között az 1 U Cubesat osztályba tartozik. A Cubesat szabvány tartalmazza a műholdra vonatkozó méretkorlátozásokat (10x10x10 cm-es kocka) és tömeghatárokat (maximálisan 1 kg). E határparaméterek mellett kell egy olyan komplex rendszert összeállítani, amely architektúrájában hasonló a nagy kereskedelmi és katonai műholdakhoz. Ez a felépítés – a kis tömeggel természetszerűleg együtt járó alacsonyabb költségekkel karöltve – kiváló lehetőséget biztosít arra, hogy a munka során mindazon fejlesztési fázisokat végigjárjuk, amelyek egy ennél komplexebb műhold fejlesztését jellemzik.

A tervezés során a kis méret és a tömegkorlátozás mellett két jelentős kihívásnak kell megfelelni. Egyrészt minden fedélzeti elektronikának képesnek kell lennie extrém körülmények közötti (vákuum; -40 .. +80 °C hőmérséklethatárok) működésre, másrészt a felbocsátás extrém mechanikai igénybevételét is el kell viselni a szerkezetnek és az alrendszereknek egyaránt. A rendszernek minden körülmények között megbízhatóan kell működnie, így célszerű az architektúrát egypont-meghibásodás ellen védettként felépíteni.

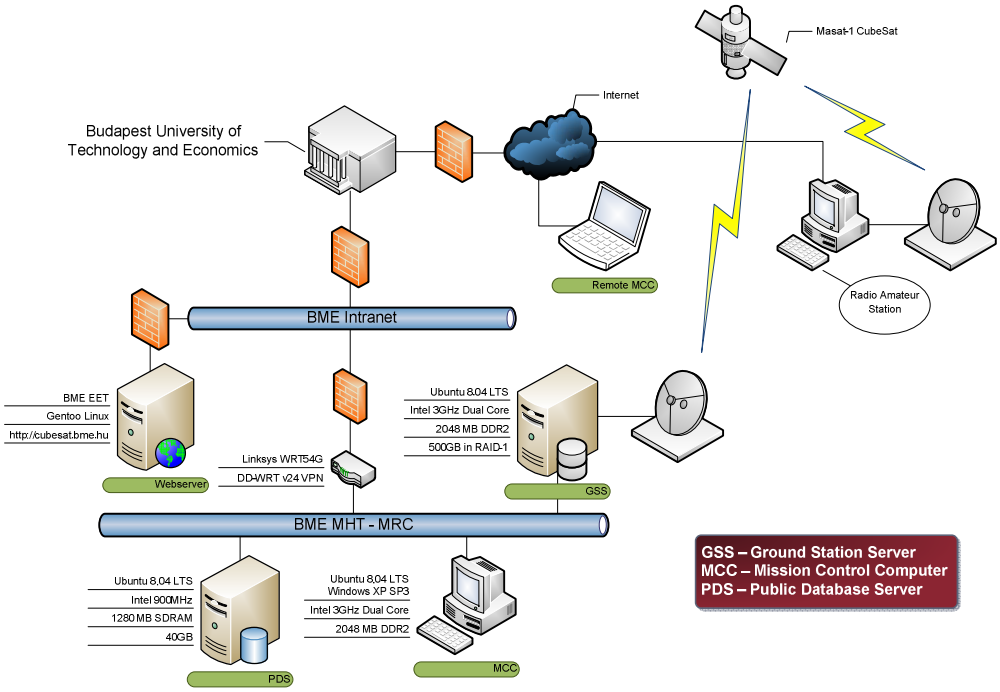
A MaSat-1 kisműhold fedélzeti rendszerének felépítése látható az 1. ábrán.



1. ábra A Masat-1 kisműhold fedélzeti rendszerei

A műhold energiaellátását napelemek biztosítják. Az ezekből kinyerhető teljesítmény 1-2 W között van. Ebből gazdálkodva kell biztosítani az összes fedélzeti rendszer energiaellátását, ami komoly kihívást jelent. A napelemek optimális kihasználását maximális munkapont-követő áramkör (MPPT – Maximal Power Point Tracker) biztosítja, amihez egy DC-DC konverter (EPS – Electrical Power System) kapcsolódik, biztosítva az egyes részegységek számára szükséges tápfeszültséget. A földárnyékban eltöltött idő alatti működést, és az esetlegesen előforduló nagyobb pillanatnyi teljesítményfelvételt egy lítium-alapú akkumulátor fedezi. A fedélzeti intelligenciát egy mikroprogramozott vezérlőegységen alapuló fedélzeti adatkezelő biztosítja (OBC – On-Board Computer), ezen futnak a szükséges számítások, valamint a rendszer működését összehangoló ütemező. A műholdon kísérleti jelleggel egy félaktív elektromágneses stabilizáló rendszer került elhelyezésre, ezzel várhatóan biztosítható a Masat-1 pozícionálása, s az aktuális pozíció mérése. Végül, de nem utolsósorban elhelyezésre került egy kommunikációs alrendszer, amely a fedélzeti számítógép és a földi állomás (GS – Ground Station) közötti adatátvitelt biztosítja.

A projektben a szerzők a kommunikációs rendszer fejlesztését végezték. A kommunikációs folyamat két résztvevője tulajdonképpen maga a MaSat-1 műhold, valamint Budapesten, a Műegyetemi Rádió Klubban (MRC) elhelyezett elsődlege,s illetve egy érdi másodlagos földi vezérlő állomás. A kommunikációs alrendszer kifejlesztése során tehát nemcsak a műholdfedélzeti alrendszer tervezésével és kialakításával kell foglakozni, hanem a földi állomáson is ki kell alakítani a megfelelő hardver- és szoftverkörnyezetet. Mindkét földi állomás Interneten keresztül távolról elérhető és vezérelhető. Az ehhez szükséges számítógépes infrastruktúra látható a 2. ábrán.

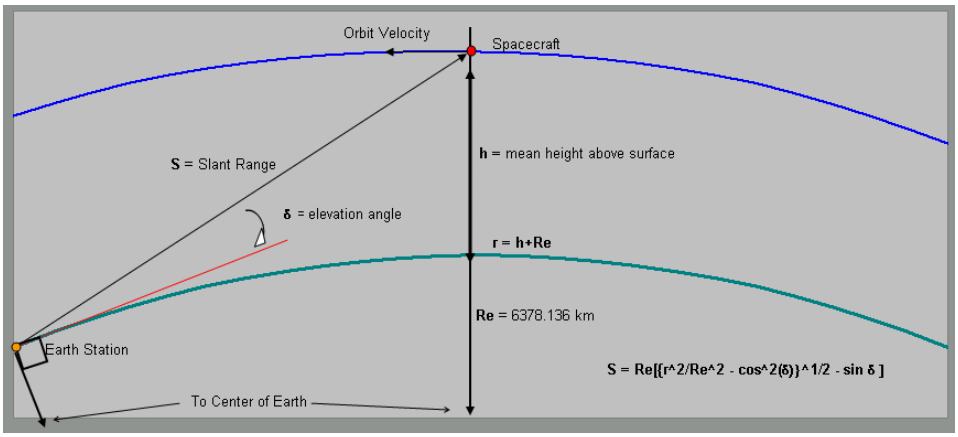


2. ábra A földi állomás felépítése

TERVEZÉSI PARAMÉTEREK

Műholdpálya

A műhold alacsony Föld körüli pályán (LEO – Low Earth Orbit) kering, a pályamagasság megközelítőleg 650-800 km. A pálya geometriájából adódóan a legnagyobb áthidalandó távolság a horizont. Ez magyarországi viszonylatban 3000 km-t jelent 800 km-es pályamagasság esetén, amely a gyakorlatban kisebb lesz, ugyanis a magyarországi domborzati viszonyok miatt nem látható a 0°-os elevációhoz tartozó horizont – 3. ábra.



3. ábra. A műholdpálya

A rádióösszeköttetés méretezésénél a pályaadatokból számított következő adatokat vettük figyelembe:

- Maximális pályamagasság: 800 km.
- Keringési sebesség: >7500 m/s.
- Keringési idő: kb. 100 perc.

A földi vételi oldalon szeretnénk a világ minden táján minél több rádióamatőrt bevonni a vételbe, így a rádióamatőr frekvencia kiosztásnak megfelelő sávokat és sávszélességet választottunk:

- Működési frekvencia sáv: 145 és 437 MHz.
- Maximális sávszélesség: 12,5 kHz.

Rádió link

A fent részletezett paraméterek alapján elkészített, a rádiós összeköttetés teljesítményviszonyaira vonatkozó számítási eredmények az 1. táblázatban találhatók.

MaSat-1 rádió link számítás	downlink	uplink	
frekvencia	437 345 000	145 980 000	Hz
hullámhossz	0,69	2,06	m
távolság	3 000 000	3 000 000	m
szakaszcsillapítás	155	145	dB
adóteljesítmény	20	43	dBm
adóantenna nyereség	0	10	dBi
vevőantenna nyereség	10	-10	dBi
vett teljesítményszint	-125	-102	dBm
vevő érzékenység	-127	-108	dBm
maximális sávszélesség	12 500	12 500	Hz
zajhőmérséklet (vevő bemenet)	500	500	K
vett zajteljesítmény	-131	-131	dBm
jel-zaj viszony (vevő bemenet)	6	28	dB
fading tartalék	2	6	dB

1. táblázat Teljesítményviszonyok

A kommunikáció a 70 cm-es illetve a 2 m-es rádióamatőr frekvenciasávon zajlik, ehhez hatályos frekvenciaengedélyt kértünk és kaptunk a Nemzeti és a Nemzetközi Hírközlési Hatóságtól. A műhold hívójele: HA5MASAT.

A rádiólink számításnál az antenna nyereségeket és a vevő érzékenységeket szándékosan alulról, a sávszélességeket és a távolságot pedig felülről közelítve vettük figyelembe. Az így kapott jel-zaj viszony és fading tartalék értékek azt mutatják (mivel pozitívak), hogy a rádiólink zárul.

Ezek alapján a földi adóoldali vezérléshez egy kb. 20 W RF kimeneti teljesítményű rádióadó (4. ábra), és az adott frekvenciasávra méretezett 10 dBi nyereségű irányított antenna, a műhold vételéhez

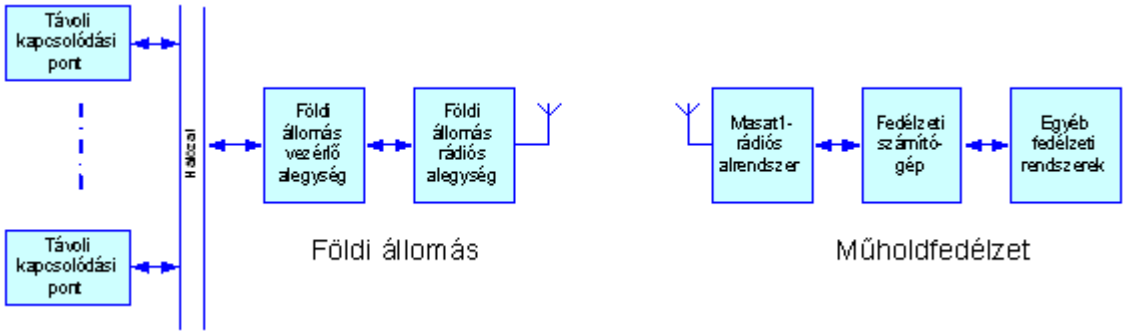
pedig egy 0,1 µV @ 50 Ω érzékenységű rádióvevő (4. ábra), a hozzá tartozó minimum 10 dBi nyereségű antennával szükséges.

4. ábra. A földi állomás adó-vevője

A műholdoldali kommunikációs rendszer rádiós linkre vonatkozó minimális határparamétere a 10 dBm-es adóteljesítmény, valamint a -105 dBm-es érzékenység.

A KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZER

A műhold és a földi állomás közötti digitális adatkapcsolat a kommunikációs rendszer segítségével valósul meg. A rádiós összeköttetés alapvetően két jól elkülöníthető részből áll: az egyik a műhold, a másik a földi állomás, vagy a földi állomások rendszere. A két részen eltérő fejlesztési irányelveknek kell megfelelni. A teljes kommunikációs architektúra látható az 5. ábrán.



5. ábra. A teljes kommunikációs architektúra

Feladat

A kommunikációs rendszer alapvető feladata műhold – Föld irányban (downlink) a műhold belső paramétereinek (feszültségek, áramok, hőmérsékleti adatok, napelem megvilágítási értékek, giroszkóp és mágneses szenzor értékek, stb.) a földi állomásra továbbítása. Ezt nevezzük **telemetriának.**

Föld – műhold irányban (uplink) a kommunikációs rendszernek a földi állomásról érkező parancsokat kell venni és feldolgozni. Ezt nevezzük **telecommandnak**.

Műholdfedélzeti kommunikációs rendszer

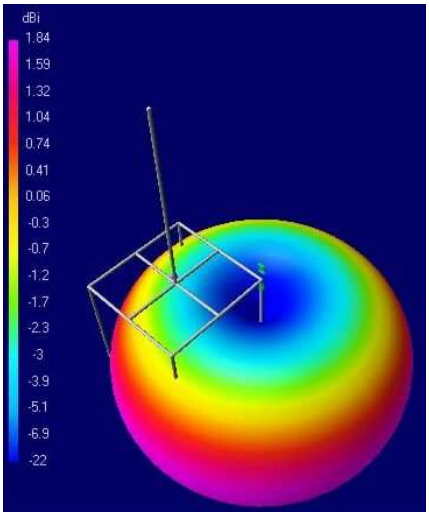
A műholdfedélzeti rádiós adatkapcsolati rendszer a következő paraméterekkel rendelkezik:

- Bemeneti maximális tápteljesítmény (tápteljesítmény-felvétel adásban) 600 mW.
- Adóteljesítmény: 100 mW.
- Vételi érzékenység: min. -105 dBm.
- Tápfeszültség 3,3 V (± 5 %).
- Méret: 90x90 mm bruttó méretű nyomtatott áramköri lemez, a rögzítéséből adódó mechanikai megkötésekkel.
- Tömeg: max. 75 g.
- Működési hőmérséklet tartomány: -40..+80 °C
- Adási frekvencia: 437 MHz.
- Vételi frekvencia: 145 MHz.
- Antenna: monopól.
- Adásmód: 2FSK.
- Adatsebesség: 1200 bit/s.
- Sávszélesség: 3000 Hz.

Egyes paramétereket a műholddal szemben támasztott követelmények, továbbiakat a fentebb részletezett rádiós linkparaméterek tettek szükségessé, a felsorolásban szereplő, de korábban nem részletezett paraméterek leírása az alábbiakban olvasható.

Műholdfedélzeti antenna

A műhold antennája a műhold – Föld irányra méretezett egyszerű negyedhullámú sugárzó, melynek analizált iránykarakterisztikája a 6. ábrán látható.



6. ábra. A teljes kommunikációs architektúra

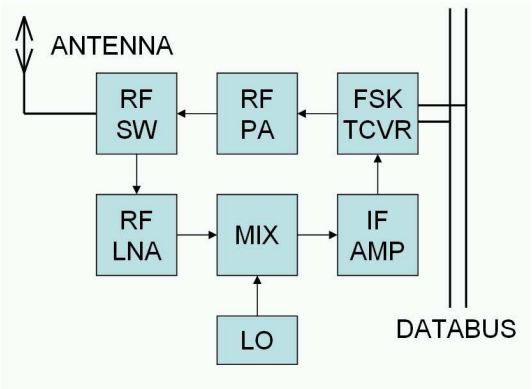
Ennek az antennának a feladata, hogy a 437 MHz-es jeleket a lehető legjobb hatásfokkal sugározza le a Földre, illetve a Földről érkező 145 MHz-es vezérlő jeleket a tőle elvárható legjobb hatásfokkal vegye.

Az antenna hossza úgy lett megválasztva, a 437 MHz-es sávon a lehető legnagyobb hatásfokkal működjön (50 Ω körüli sugárzási ellenállás), illeszkedjen a műhold geometriai méreteihez (10x10x10 cm-es kocka), és a kockából nyitható legyen → 17 cm.

Ez a hosszúság, a felmenő oldalon – 145 MHz-en – a hullámhossz kb. egy-tizenketted része. A relatíve kis hosszúság miatt a sugárzási ellenállás valós része kb. 2 Ω körüli, reaktáns része pedig erősen kapacitív jellegű. Ezt a bemeneti impedanciát kell teljesítményben illeszteni a műhold vevőjének 50 Ω-os bemenetéhez. Ezek miatt lesz az antenna uplink oldali nyeresége -10 dBi, kb. ugyanolyan kardioid jellegű iránydiagram mellett.

Műholdfedélzeti adó-vevő

A műholdon levő digitális adó-vevő felépítése a 7. ábrán látható.



7. ábra. A műholdfedélzeti adó-vevő felépítése

A rádió alapja egy integrált áramkörön megvalósított FSK adó-vevő, amely a 437 MHz-es sávon üzemel.

Adásirányban a kimeneti jele egy UHF teljesítményerősítőre kapcsolódik (RF PA). Ezután a jel egy hatékony harmonikus elnyomást megvalósító szűrőn keresztül csatlakozik egy diódás RF kapcsolóra (RF SW) és kerül az antennára.

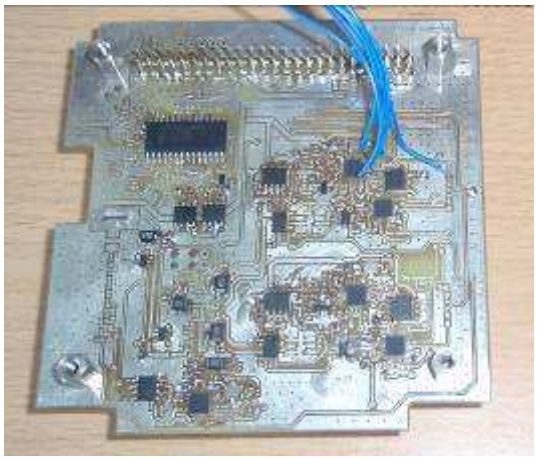
Vételirányban az antennáról jövő 145 MHz-es jel a diódás RF kapcsolón, sávszűrőn és RF előerősítőn (RF LNA) keresztül egy keverőre kapcsolódik (MIX). Ott egy helyi oszcillátor (LO) rezgésével keveredve egy középfrekvenciás erősítőn (IF AMP) keresztül kapcsolódik az adó-vevő IC vevőbemenetéhez (az adó-vevő IC 437 MHz-en üzemel).

A tényleges moduláció illetve demoduláció az adó-vevő IC-n belül történik. Ez a fedélzeti számítógép rendszerbuszára csatlakozik, ahol soros kapcsolaton keresztül vezérelhető. A műholdfedélzeti kommunikációs rendszer a vett csomagok értelmezését nem végzi, a vett adatokat

továbbítja a fedélzeti számítógép felé, illetve a fedélzeti számítógép adatait a megfelelő paraméterekkel lesugározza a földi vevőállomásra.

Az adó-vevő – ugyanúgy, mint a műhold működéséhez elengedhetetlenül fontos minden részegység – hidegtartalékolt, vagyis a teljes kommunikációs rendszer (hasonlóan a tápegységhez, fedélzeti számítógéphez) duplikált.

A műholdfedélzeti kommunikációs rendszer paneljének mérnöki példánya látható a 8. ábrán.

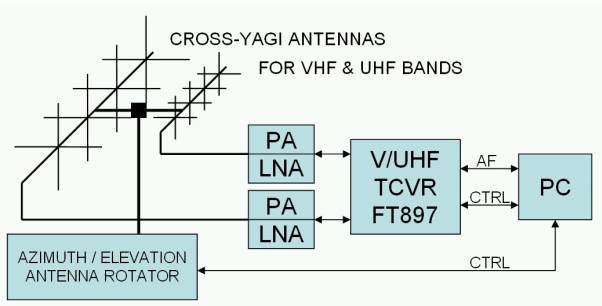


8. ábra. A mérnöki modell

A földi állomás

A földi állomás feladata a műhold jelének vétele, valamint parancsok továbbítása a műhold fedélzetére.

Mivel a kommunikáció digitális, ezért az átviteli láncban valahol szükséges digitalizálni mind adás, mind pedig vétel irányban. Ez a gyakorlatban úgy történik, hogy a földi állomás rádió adó-vevőjének hangszóró kimenete illetve mikrofon bemenete egy számítógép hangkártyájára csatlakozik. Az így felépített földi állomás blokkvázlata látható a 9. ábrán.



9. ábra. A földi állomás szerkezete

A rádió adó-vevő nemcsak a hangkártyán keresztül csatlakozik a számítógépre, hanem egy digitális porton is. Ennek oka a műhold keringési sebességében rejlik, mivel a 7500 m/s feletti sebesség esetén, a Doppler-hatásból adódóan a 437 MHz-es sávban több mint 10 kHz a frekvencia elcsúszás.

Ez jelentősen meghaladja a rádió középfrekvenciás sávszélességét, vagyis lehetetlenné teszi a vételt. A pályaadatok ismeretében azonban adott frekvenciasávban minden időpillanatban számítható a Doppler-csúszás mértéke. Az adó-vevő pontos frekvenciája ennek megfelelően állítható. Ezt a frekvencia korrekciót, pedig egyértelműen nem végezheti a műhold, hiszen semmilyen információja nincs az aktuális pozíciójáról, nem beszélve a földi állomásokhoz képesti sebességéről.

A rádióhoz természetesen tartozik frekvencia sávonként egy-egy nagyteljesítményű végfokozat (PA – Power Amplifier), illetve kis zajú előerősítő (LNA). Ez utóbbi a minél kisebb eredő zajtényező elérése érdekében az antennához a lehető legközelebb került elhelyezésre.

Az antenna fogatását illetve döntését is ugyanezen számítógép vezérli (Antenna Rotator).

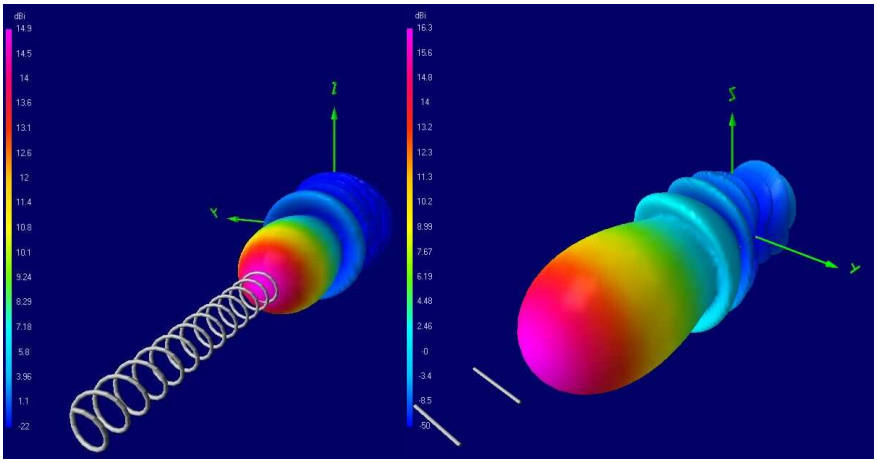
Az elsődleges földi állomásról készült felvétel látható a 10. ábrán (vezérlő számítógép, tápegységek, rádió adó-vevők, antenna forgató vezérlő).

10. ábra. Az elsődleges földi állomás

Földi vevőállomás antenna

A műhold jele mind adás, mind pedig vételi irányban lineárisan polarizált – negyedhullámú monopól antenna. A gyakorlatban azonban – mivel a műhold a pályáján haladva forog, precessziló mozgást végez, illetve belső állandó mágnese miatt a Föld mágneses terével kölcsönhatásban a mágneses sarkpontok környékén átfordul – nem tudjuk megmondani, hogy a jelének polarizációja adott időpillanatban milyen irányú. Ezek alapján a földi állomás antennáinak körpolarizáltnak kell lenniük, hiszen a körpolarizált antenna bármely lineárisan polarizált jelet azonos érzékenységgel veszi.

A földi állomás antennái lehetnek kereszt-Yagi vagy helix típusúak (körpolarizáció) – 11. ábra.



11. ábra. Földi állomás antenna iránykarakterisztikák – helix és kereszt-Yagi

Ahhoz, hogy a műholddal való kommunikáció során egy teljes átvonulás alatt minden időpillanatban biztosítsuk a megfelelő jelszinteket, az irányított antennákat a műhold pályaadatainak ismeretében rá kell forgatnunk a műholdra mind azimut, mind pedig elevációs szögben (a horizonthoz tartozó félgömb felület bármely pontjára rá kell tudjunk fordulni). Ehhez egy kéttengelyű antennaforgatóra van szükség, valamint a hozzá tartozó vezérlő elektronikára, illetve a vezérlő számítógépre. A földi állomás antennarendszere a kereszt-Yagi antennákkal és az antennaforgatóval a 12. ábrán látható.

12. ábra. Földi állomás antennarendszere

Moduláció [1,2]

A telemetria és a telecommand adatok továbbítása adatcsomagok révén történik. Egy csomag nyers adathossza 32 bájt. Az eddig megismert feltételek alapján (távolság, antennák, frekvenciasáv, stb.) csak egyszerű digitális moduláció használható, amely jelen esetben a 2FSK (energetikailag hatékony – mindkét logikai állapothoz tartozik RF kimeneti teljesítmény; további fontos szempont, hogy a piacon számos gyártónál található FSK adás-vételt megvalósító RF eszköz).

Az FSK-hoz tartozó BER – SNR (bithiba arány – jel-zaj viszony) görbe alapján 6 dB feletti SNR esetén érhető el 1% alatti BER, hogyha az adatsebesség 1200 bit/s illetve az FSK jel sávszélessége 3000 Hz körüli. Ez a sávszélesség jól illeszkedik egy amatőr rádió adó-vevő SSB sávszélességéhez (4. ábra).

Kódolás [1,2]

A műhold-föld irányú kommunikáció kritikus jelentőségű a projekt szempontjából, így a szakaszcsillapítás esetén kiszámított megfelelő tartalékoláson túl megvizsgáltuk, hogyan lehetne tovább növelni az adatátvitel biztonságát.

Zajos csatornán történő átvitel esetén sok esetben alkalmaznak különböző kódolási eljárásokat. Ezek némelyike csak hibadetektálásra, míg mások hibajavításra is alkalmasak. Mivel a célunk a kommunikáció során a megbízhatóság javítása, így kódolástechnikai témakörben tett vizsgálódásunkkor hibajavító képességgel rendelkező kódolásokra szorítkoztunk.

A kódolási eljárás kiválasztása során egy fontos szempont az, hogy (mivel a kódolást elsődlegesen a műhold – Föld irányú adatátvitel során érdemes használni) maga a kódolás a lehető legkevesebb számítási kapacitással kivitelezhető legyen.

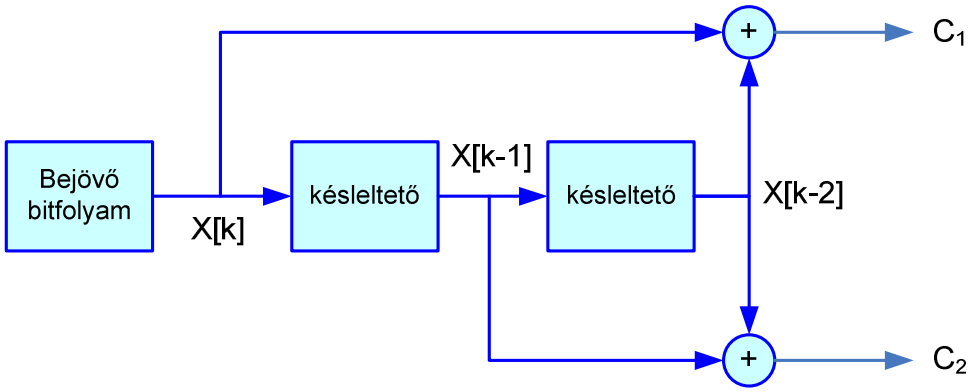
Ha csak a műhold-föld irányú átvitelt kódoljuk, akkor a dekódolás a földi állomáson, számítógép (PC) segítségével történik, így itt nem jelent problémát számítás-intenzív algoritmusok futtatása sem.

Ezzel a jellegzetes tulajdonsággal (egyszerű kódolás, számítás-intenzív dekódolás) rendelkeznek az úgynevezett konvolúciós kódok, trellis-alapú dekódert (Viterbi) alkalmazva. A konvolúciós kódolás lényege, hogy – a lineáris/ciklikus blokk kódolási eljárásoktól eltérően – az aktuális kód kiszámításakor nem egy adott adatblokkban levő biteket vesszük figyelembe, hanem egy csúszóablak alapján mindig az utolsó **l** kiküldendő bitből számítjuk a kiküldendő kódot.

Ezt a számot a konvolúciós kódoló kényszerhosszának nevezzük. A konvolúciós kódoló a bemenetére adott bitfolyamból egy hosszabb bitfolyamot generál. Ha a bemenetre adott bitek száma **k**, s a kódoló által generált kimeneti bitek száma **n**, akkor definiáljuk az ún. kódarányt az átvinni kívánt hasznos bitek és a kiküldött összes bit arányaként (1).

$$kódarány = \frac{k}{n} = \frac{hasznos_bitek}{összes_bit} \tag{1}$$

Egy 3 kényszerhosszú, 1/2 kódarányú konvolúciós kódoló blokkvázlata látható a 13. ábrán. Az összeadók a modulo 2 összeadás műveletét végzik el (XOR kapu).



13. ábra. Egy 1/2-es kódarányú kódolást megvalósító konvolúciós kódoló

A c_1 és c_2 kimenetek kiszámításának hozzárendelési szabálya az ábrából leolvasható (2).

$$c_1 = x[k] + x[k-2]$$
$$c_2 = x[k-1] + x[k-2] \qquad (2)$$

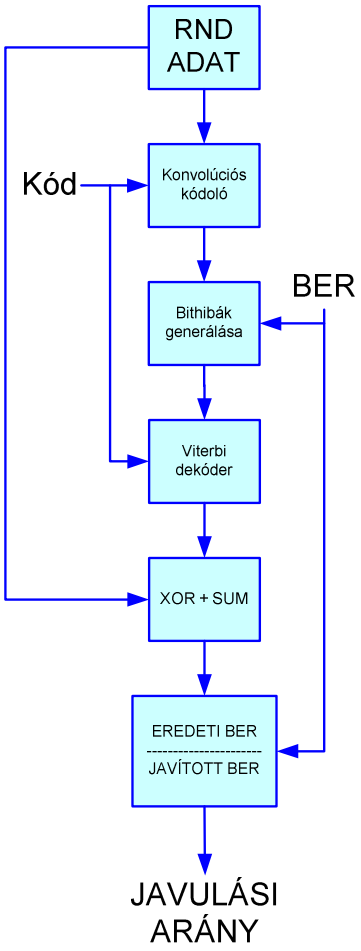
A kódoló által előállított bitsorozat dekódolása a Viterbi algoritmussal történhet. A rendelkezésre álló terjedelem rövidsége miatt a trellis alapú dekódolási folyamatot részletesen nem ismertetjük.

A dekódolási folyamatról annyit érdemes megjegyezni, hogy – mivel hibátlan átvitel esetén nem következhet bármilyen c_1c_2 pár egy adott c_1c_2 után – a dekóder a kapott bitfolyamra kiszámítja az összes lehetséges út költségét, majd végül a legkisebb a-posteriori hiba-valószínűséggel – a legkisebb költséggel – járó úton haladva dekódolja a küldött biteket.

A kódolás hatékonysága nagyban függ a c_1 és c_2 kimenetek kiszámítására alkalmazott hozzárendelési szabálytól, a választott **l** kényszerhossztól, az aktuális bithiba-aránytól, valamint a hibák eloszlásától.

Az optimális hozzárendelési szabály megtalálása érdekében Matlab környezetben szimulációkat végeztünk (14. ábra). A szimulációt 256 bit hosszú, véletlenszerűen generált adatsoron végeztük, a változó paraméterek a bithiba-arány (BER), a kényszerhossz és a $c_1 c_2$ hozzárendelési szabály voltak.

20 különböző BER-érték mellett az összes lehetséges 2 és 6 közötti kényszerhosszúságú hozzárendelési szabály esetén 1000 véletlenszerű adatsort generálva vizsgáltuk meg azt, hogy hogyan változik a bithibák száma a kódolás előtti állapot és a Viterbi-dekódolást követő állapot között.



14. ábra. A javulási arány kód- és BER-függését vizsgáló algoritmus folyamatábrája

Azt tapasztaltuk, hogy a 13. ábrán látható 3-as kényszerhossz és 1/2-es kódarány esetén a jellemzően előforduló bithiba-valószínűségek esetén megfelelő hozzárendelési szabályt alkalmazva akár két nagyságrenddel is csökkenthető a bithibák száma.

A 2. táblázat első oszlopában a szimuláció során generált bithiba-arány (BER) látható, míg a második oszlopban a kódolás előtti hibás bitek száma elosztva a Viterbi-dekódolást követő bithiba-aránnyal (IR – Improvement Rate – javulási arány).

Látható, hogy 0,1 és 0,2 %-os bithiba-arány esetén minden bithiba kijavítása sikeres volt, míg ennél nagyobb bithiba-arányok esetén is könnyen elérhető az 1-2 nagyságrendnyi hibajavítás. A kódolás még extrém nagy bithiba-arány (10%) esetén is értékelhető mértékben javít a beérkező adatokon.

BER [%]	**Javulási arány [eredeti hibaszám/ megmaradt hiba]**
0.1069	Inf
0.2147	Inf
0.2789	143.5000
0.4217	31.0000

0.5199	38.2143
0.6238	22.9286
0.6773	26.8077
0.8366	18.7174
0.9251	14.0000
0.9688	13.8472
1.4741	9.8506
1.9803	9.0177
3.0074	5.0407
4.1045	3.9477
5.0334	2.9600
5.8710	2.5821
6.9681	2.3481
7.9427	2.0193
8.9795	1.8077
9.9551	1.6850

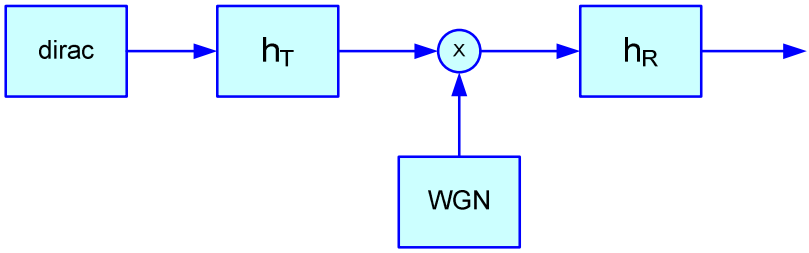
2. táblázat: Egy megfelelő kód javítási képessége a bithibaarány függvényében (szimuláció)

Zajszint alatti detektálás [1,2]

A műholdról a telemetriaadatok vétele a fent részletezett számítások és szimulációk alapján nagy nyereségű földi állomás antennák és antennaforgató berendezés segítésével lehetővé vált. Szeretnénk azonban biztosítani egy olyan működési módot, amellyel a nagy nyereségű antennával nem rendelkező rádióamatőrök számára is lehetséges a MaSat-1 jelenlétének detektálása.

Egy kézi rádió használata esetén az összegzett szakaszcsillapítás az irányított antenna 12..20 dB-es nyereségét elveszti. Amennyiben sikerül találni egy olyan eljárást, amellyel ezt a kb. 20 dB-es nyereséget pótolni lehet, akkor már egy ilyen kezdetleges berendezéssel is lehetővé válna a műhold detektálása. Noha ezzel a megoldással telemetria-adatok vétele nem lehetséges, ugyanakkor adott esetben már a „jelenlét”, mint adat is megfelelő információtartalommal bírhat.

Az irányított antenna 20 dB-es nyereségét elveszítve a beérkező jel már a zajszint alatt van. Szükség van egy olyan eljárásra, amellyel zajszint alól is lehetséges átvitt jelek azonosítása. A zajszint alatti detekcióhoz illesztett szűrős megoldást alkalmazunk. Az illesztett szűrő elvi felépítése látható a 15. ábrán.



15. ábra. Az illesztett szűrő, mint zajszint alatti detektor

Az ideális vevőkészülékben a vevőszűrő a következő megfontolások alapján határozható meg (3).

$$H_{R,opt}(f) = H_T^*(f) \Rightarrow h_{R,opt}(t) = h_T^*(n \cdot T - t) \tag{3}$$

Ekkor a jel-zaj viszony a beérkező jel energiájával arányos (4).

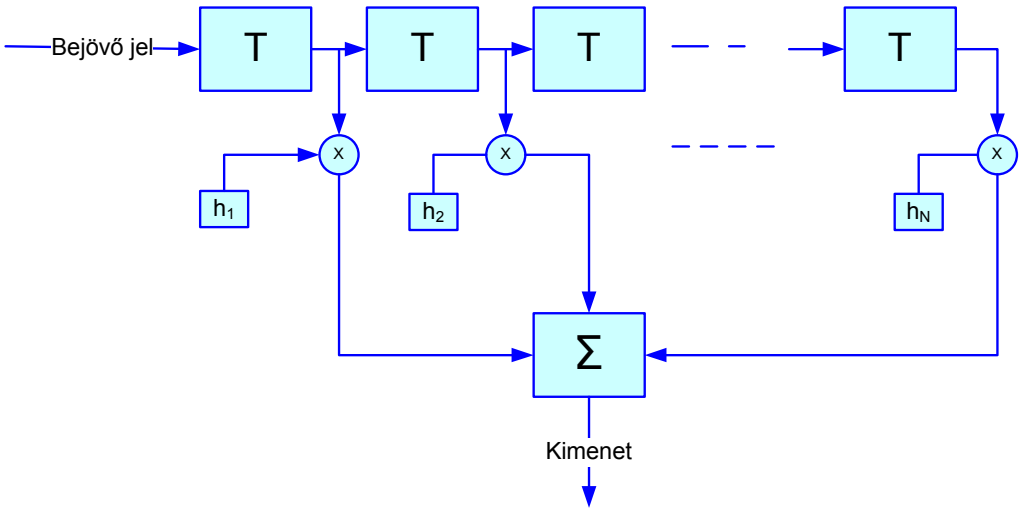
$$SNR_{\max} = \frac{2 \cdot E}{N_0} \tag{4}$$

Ahol a jelenergia (5).

$$E = \int_0^{N \cdot T} x^2(t) dt \tag{5}$$

A 16. ábrán látható egy illesztett szűrő digitális reprezentációja (egy FIR szűrő). Ennek matematikai leírása a következő (6).

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) \cdot x(N-k) \tag{6}$$



16. ábra. Illesztett digitális szűrő blokkdiagrammja

Az illesztett szűrős detektálás lényege, hogy a detektálni kívánt jelalaknak megfelelő mintákat állítunk be a **h** szűrővektorban, majd folyamatosan kiszámítjuk a beérkezett jel és a keresett jelforma korrelációját.

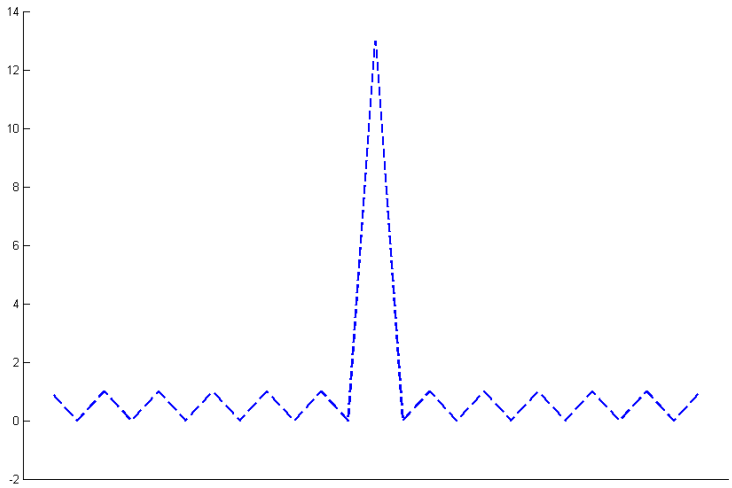
Amennyiben a beérkezett jel pont az általunk a szűrővektorban elhelyezett jelalak, akkor a szűrő kimenete a választott „kód” autokorrelációjával arányosan nagy érték lesz.

Zajszerű bemenet esetén a szűrő kimenete nulla várható értékű zajszerű kimeneti értéket ad. Egy ilyen szűrős megoldással, egy sok szimbólumból álló kódsorozatot alkalmazva – az adatsebesség csökkentése árán – jelentősen növelhető a helyes döntés valószínűsége (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum – amely most nem a sávszélességet növeli, hanem az adatsebességet csökkenti). A nyereség a választott kódsorozat hosszától, a „felismerhetőség” az autokorrelációjától függ.

Olyan kódot érdemes választani, amelynek a lehető legnagyobb az ún. PSLS értéke (Peak SideLobe Suppression) – (7).

$$PSLS = 20 \cdot \log \frac{Maximális_érték}{Második_legnagyobb_érték} \tag{7}$$

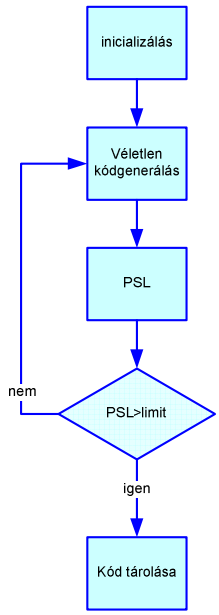
A 17. ábrán látható egy jellegzetes kód, a Barker-13 autokorrelációs függvénye. A középen látható korrelációs csúcs (kiemelés) értéke megegyezik a kód hosszával, így az ilyen kódok vizsgálatánál a továbbiakban elég csak a „második legnagyobb érték” (Peak Sidelobe Level, PSL) minimalizálására törekedni.



17. ábra. A Barker-13 kód autokorrelációs függvényének abszolút értéke

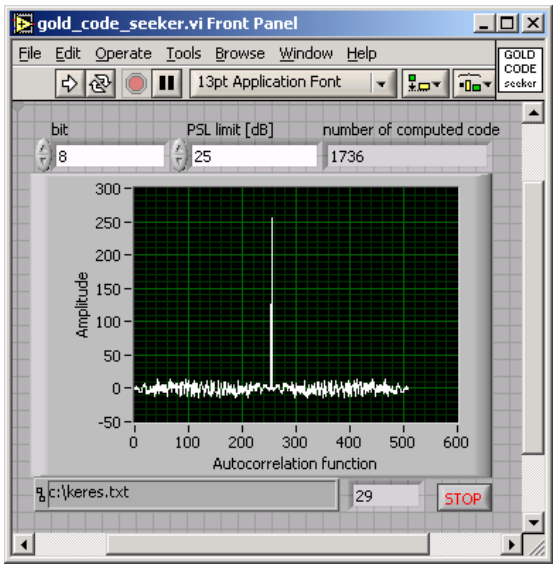
Hosszabb kódok alkalmazásával ennél nagyobb kiemelés is elérhető, ugyanakkor érdemes megjegyezni azt, hogy a 13-nál hosszabb kódok között nem létezik olyan, ahol a korrelációs csúcson kívül a korrelációs összeg csak 0 és 1 között változik.

A továbbiakban egy optimális kód megkeresését tűztük ki célul. Egy bizonyos kódméret alatt a kódkeresésre jó megoldást jelent az adott hosszúságú összes kód esetében a PSL kiszámítása. Ugyanakkor a lehetőségek száma a kódhossz függvényében exponenciálisan növekszik, így 50-60 bites kódhossz felett már érdemes véletlenszerű eljárással kódokat keresni. A kódkeresés algoritmusa a 18. ábrán látható.



18. ábra. Kódkereső algoritmus

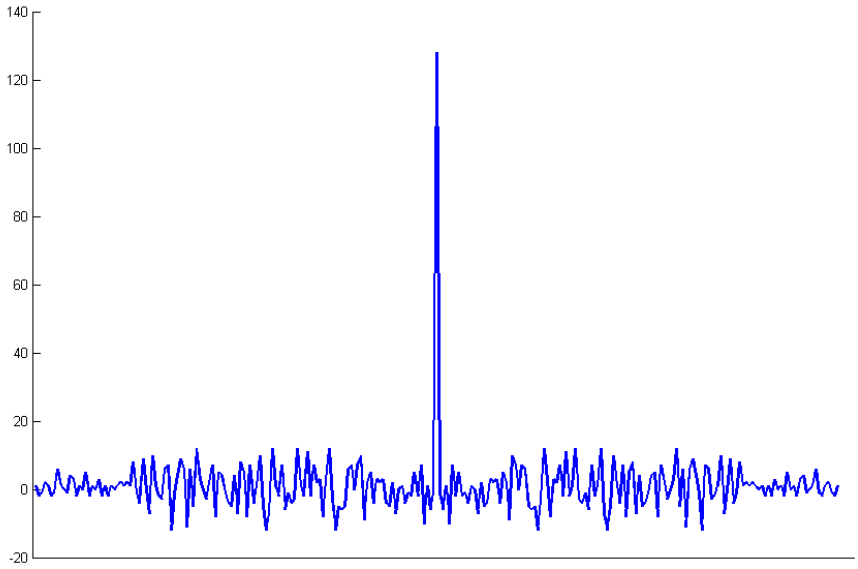
LabView környezetben elkészült egy, a kódkereső algoritmust megvalósító program.
A program felhasználói felülete a 19. ábrán látható.



19. ábra. Adott PSL-nél jobb kódokat eltároló kódkereső program

A 18. ábrán látható kódkereső algoritmus futásának felgyorsítására a következő eljárás került implementálásra: az autokorreláció kiszámításakor minden egyes léptetéskor kiszámításra kerül az aktuális érték, s ha ez egy bizonyos határnál magasabb (azaz a PSL nem lehet kellően alacsony), akkor a program abbahagyja az aktuális kód kiszámítását, és új kóddal kezd számolni.

A tesztelés során a 128 bit hosszúságú sorozatokra koncentráltunk, itt sikerült néhány 23 dB-nél nagyobb kiemeléssel rendelkező kódot előállítani (20. ábra).



20. ábra. 128 bit hosszú generált kódsorozat autokorrelációs függvénye

A generált kódok ismeretében – mivel a vevő is ismeri az adott kódot – a 20 dB-nél nagyobb PSL miatt gyakorlatilag lehetővé válik a zajszint alatti jelek detekciója, vagyis nagynyereségű antenna hiányában is detektálhatóvá válik a műhold.

RÉSZEGYSÉGEK TESZTELÉSE

A teljes rendszer megépítése előtt a főbb részegységeket (keverő, teljesítményerősítő, RF kapcsoló, stb.) külön-külön vizsgálatoknak kellett alávetni. A tesztpaneleken meghatároztuk az analóg elemek szükséges paramétereit, valamint elkészült egy, a rádiós adó-vevő IC-t tesztelő, a kommunikációs rendszer tesztelése során a fedélzeti számítógép szerepét betöltő hardver és szoftver is.

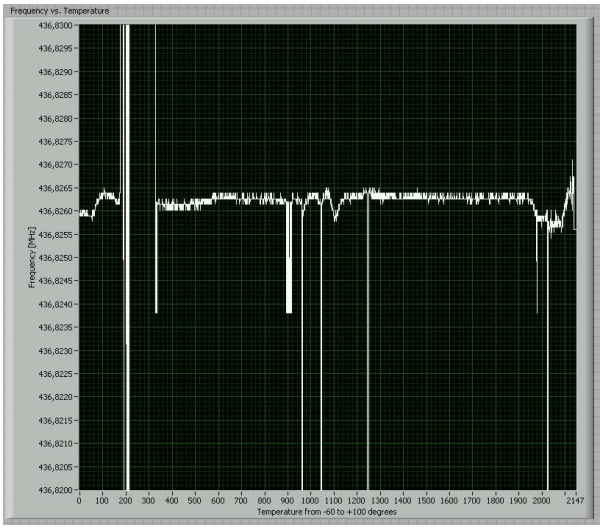
A tesztpaneleket a továbbiakban különböző kísérleteknek vetettük alá. Különösen fontos volt az, hogy az alkatrészek az űrbeli körülmények között is megállják helyüket. Minden beépített alkatrész teljesíti a megadott hőmérséklet specifikációt, de szerettünk volna meggyőződni arról, hogy a kommunikációs rendszer fent említett egységeibe beépítve is megfelelően működnek-e.

A tesztelési fázis legnagyobb részét a hőmérsékleti tesztek tették ki. Ezekhez a Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszéken rendelkezésre álló hőkamrát használtuk (21. ábra). Minden tesztpanelt -40 és +80 °C hőmérséklettartományban vizsgáltunk.

21. ábra. A hőkamra

A működés hőmérsékletfüggésének vizsgálatakor a legfontosabb kérdést a kommunikáció referenciáját biztosító órajelgenerátor stabilitása jelentette. Az adó-vevő IC ennek a generátornak az órajelét használja referenciaként, a 437 MHz-es jelet a néhányszor 10 MHz-es referencia PLL-es sokszorozásával állítja elő. Ennek következtében a referencia-órajelben jelentkező kismértékű hiba is nagy frekvencia elcsúszást eredményezhet, ami az adás és a vétel során is hibát okoz.

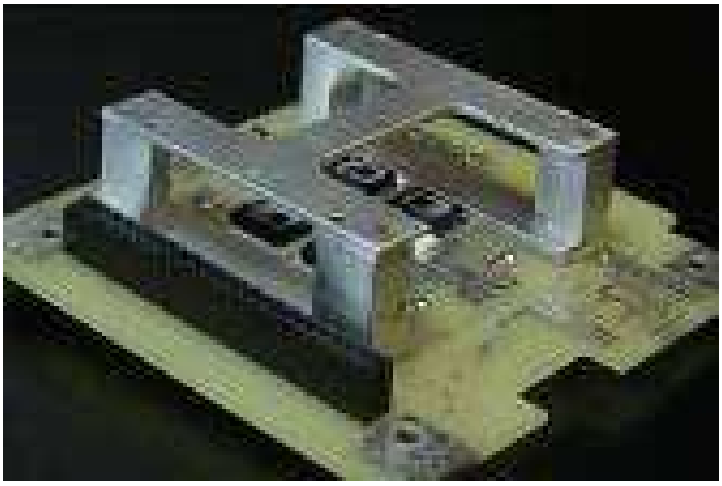
A normál kvarckristályok alkalmazása esetén a hiba már kis hőmérsékletváltozások esetén is a megengedett határnál több volt (20-50 ppm), így TCXO (Hőmérsékletkompenzált Kristályoszcillátor) alkalmazása mellett döntöttünk. A -40 - +80 °C hőmérséklettartományban a TCXO alkalmazásával a kimenő frekvencia a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**. ábrán láthatóan alakult.



22. ábra. Az adó 435MHz-es adófrekvenciája a hőmérséklet függvényében

Az ábrán látható hirtelen frekvenciaváltozások a mérési elrendezés módosítása miatt adódtak. Az ábrán a folytonos szakaszok jelentik a releváns mérési eredményeket. Látható, hogy a középponti frekvenciához képest maximálisan 500 Hz-es ingadozás lépett fel, ez a 3 kHz-es sávszélesség mellett megfelelő.

A tesztelések következő fázisát a rázópados tesztek jelentették. E tesztek során az egységeknek 40 G ütésszerű, és 10 G szinuszos terhelést kellett elviselni. A rázástesztekhez saját tervezésű nyomtatott áramkör készült, melyen a műhold fő egységeinek mechanikai szempontból érzékeny alkotóelemei kaptak helyet. A teszteléshez használt nyomtatott áramkör fotója a 23. ábrán látható.



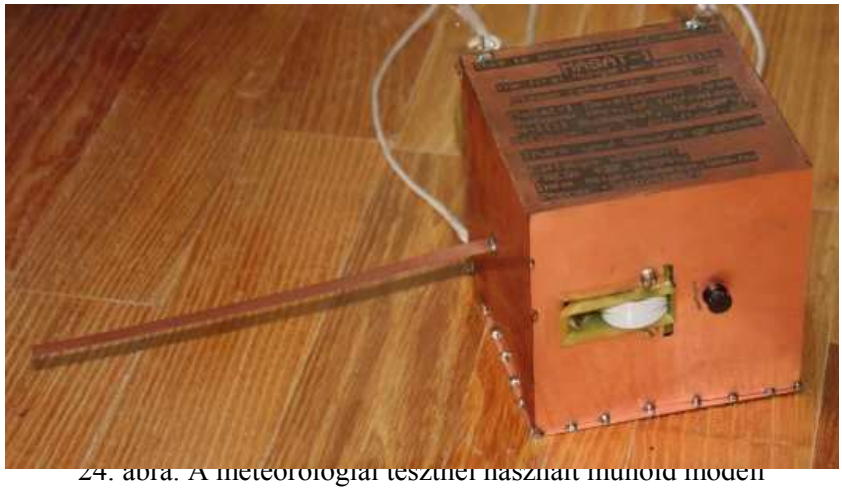
23. ábra. A rázástesztek próbadarabja

A rázási tesztek sikeresen zárultak, a választott alkatrészek mindegyike megfelelően viselte a terhelést.

A részegységek mérése során több problémába ütköztünk, emiatt pl. az RF kapcsolók esetén egy másik gyártótól kellett alkatrészeket rendelnünk, mivel az eredetileg kiválasztott IC nem teljesítette az adatlapjában megadott specifikációkat (1 dB-es kompressziós pont és beiktatási csillapítás). Ezek a problémák sok esetben hátráltatták a fejlesztési folyamatot, így kisebb csúszásokat voltunk kénytelenek elkönyvelni.

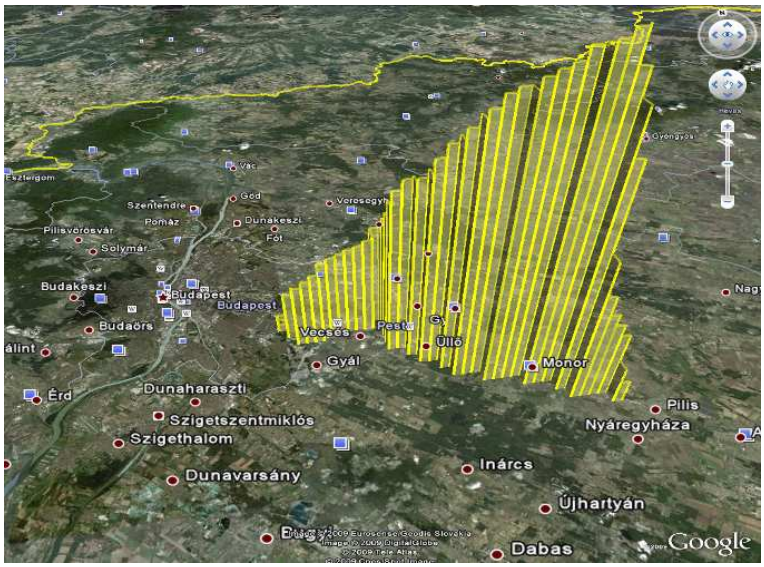
Éles teszt – Meteorológiai ballon

Az Országos Meteorológiai Szolgálat jóvoltából lehetőségünk nyílt egy meteorológiai ballonos kísérletben való részvételre, ami jó alkalom volt arra, hogy a kommunikációt rendszerszinten tesztelhessük. Meteorológiai ballonokat naponta kétszer, az ország két pontjáról bocsátanak fel, mérési célból. Ezek a ballonok akár 20-30 km-es magasságig is felemelkedhetnek, ahol a hőmérséklet nagyrészt -60 °C körül van. Erre a repülésre készítettük el a kisműhold M1:1 méretarányú modelljét, amely tartalmazta a fedélzeti rendszerek egyszerűsített változatát, így a kommunikációs egységet is. Az elkészített műhold modell látható a 24. ábrán.



24. ábra. A meteorológiai teszthez használt műhold modell

A meteorológiai ballonos kísérlet során a modell -20 °C-on antennát nyitott valamint a kommunikációs rendszer a zord körülmények között is megfelelően vizsgázott. A ballon útvonala a 25. ábrán látható.



25. ábra. A meteorológiai ballon útvonala

A repülés során a következő terhelések érték a műhold modellt:

- Maximális magasság: 31 km
- Termikus terhelés: +20..-60 °C
- Nyomás: 1000..7 hPa
- Maximális sebesség: 20 m/s

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] GÉHER Károly: Híradástechnika, Műszaki Könyvkiadó, 2000
[2] PROAKIS J. G. Digital Communication, McGraw-Hill Higher Education, 2005

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. Balaskó Márton - Dr. Fábián Margit - Horváth László

DIGITÁLIS NEUTRON- ÉS RÖNTGEN RADIOGRÁFIA ALKALMAZÁSA A HELIKOPTER FORGÓSZÁRNYLAPÁTOK VIZSGÁLATÁBAN

1. Bevezetés

A digitális technika elterjedése a műszaki élet minden területén jelentős fejlődést eredményezett. Ez vonatkozik a különböző roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek területeire is. A repülés technika eszköz parkja, hosszú tervezési- és fejlesztési időt igénylő, viszonylag bonyolult, valamint költséges alkatrészekből épül fel. Ezek az elemek megkövetelik a roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek széles körű alkalmazását, amelyeknek nagy a jelentőségük a prototípusok kifejlesztésében, fontosak a sorozatgyártás termékeinek minőségbiztosításában, de nélkülözhetetlenek az esetleges meghibásodások okainak analizálására irányuló oknyomozó tevékenységben is.

Az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet Budapest kutató reaktoránál 2001-ben kiépítettünk egy a helikopterek forgószárnylapátjainak állapot meghatározására alkalmas neutron- és röntgen radiográfiai mérőhelyet, az MH RMSZF és a HM Technológiai Hivatal felkérésére. A neutron sugárzás segítségével ki tudjuk mutatni az elvállásokat a főtartó és a szektor elemek ragasztásainál, észlelni tudjuk az idegen tárgyak behatolását, de még az azok hatását elkerülő javítások minőségét is ellenőrizhetjük vele, a műgyanta elhelyezkedésével kapcsolatos rendellenességek (porozitás, gyantában dús, illetve gyanta szegény területek) láthatóvá tehetők, megfigyelhetjük a szektorok közé behatoló vizet és annak eloszlását, de érzékelni tudjuk a fém alkatrészek, takarásban lévő, kezdődő korrózióját is. A röntgen sugárzással látjuk a nagy (néhány cm^3-nyi) víz beszivárgásokat, az idegen tárgyak behatolását és a fém alkatrészek kezdődő korrózióját (még a jégtelenítő kontaktusainál) is.

A mérőhelyünkön kétféle digitális jelrögzítési lehetőség áll a rendelkezésünkre. Az egyik technika, hasonló a hagyományos radiográfiai filmes módszerhez, statikus, állóképes felvételek (felvételi idő ~1 perc) készítésére alkalmas. A vizsgálati tárgy radiográfiai árnyképe, elektromos töltés képként kerül megörökítésre egy speciális anyagokat tartalmazó, imaging plate (IP) lemezre. A másik digitális felvételi technika nagyérzékenységű CCD kamera alkalmazásán alapul. Ebben az esetben a vizsgálati tárgy árnyképe egy sugárzás-fény átalakítón jelenik meg, amit a kamera érzékel. Ez esetben akár élőidejű (40 msec képidő) megjelenítés is lehetséges és a jelenségek mozgásban is láthatóvá tehetők, ~100 μm-es felbontással, a digitális kép itt is közvetlenül a vezérlő PC-be kerül.

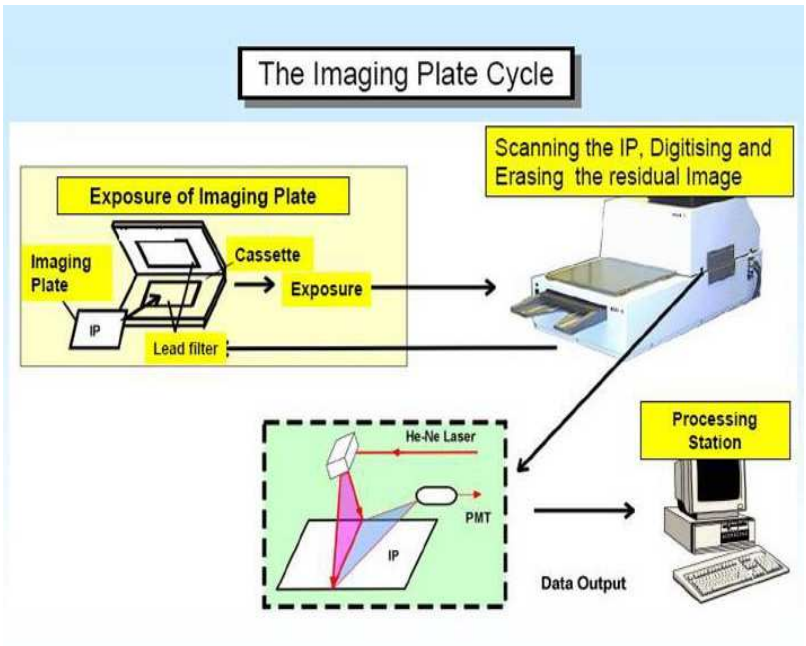
A munkánk során Mi-2, Mi-8, Mi-17 és Mi-24 típusú helikopterek fém-kompozit szerkezetű-, valamint a Ka-26 típusú helikopterek műanyag-kompozit szerkezetű forgószárnylapátjait vizsgáltuk,

mindkét nálunk meglévő digitális radiográfiai technikával, kihasználva a rendelkezésünkre álló neutron- és röntgen sugárnyalábok által szolgáltatott komplementer információszerzési lehetőségeket.

2. Mérési módszer

2.1. Imaging Plate módszer

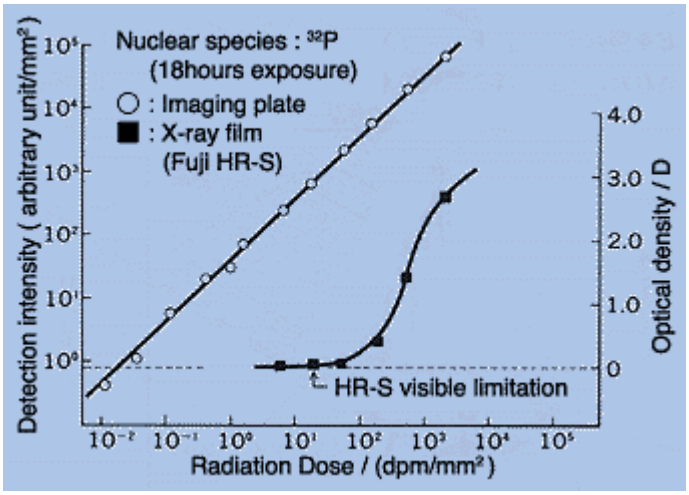
Japán kutatók a múlt század 80-as éveiben szabadalmaztatták a sugárzási árnykép (radiográfiai kép) töltés képpé alakítását, majd annak digitalizált vizuális képként való megjelenítését. Ez az, úgynevezett imaging plate (IP) technika. Elsőként az orvosi diagnosztikában terjedt el, ami érthető is, mert töredékére csökkenti a vizsgált személyek sugárterhelését, mivel sokkal érzékenyebb, mint a röntgen film. Az 1. ábrán látható az IP technika működési vázlata.



1. ábra. Az IP technika működési vázlata

A vizsgálati tárgy radiográfiai árnyképe, elektromos töltés képként kerül megörökítésre egy speciális anyagokat tartalmazó, IP lemezre (ND 20x25 neutron radiográfiai- és MS 20x25 röntgen radiográfiai felvétel esetén). A kép felvétel során célszerű a lemezt egy gyári exponáló kazettába helyezni, de egyéni kivitelezésű tartóban is lehetséges a felvétel elkészítése. A sugárzás által megvilágított lemezt egy (BAS 2500 típusú) letapogató egységbe kell helyezni, ahol egy He-Ne lézer sugarával, egy galvanikus tükör segítségével pixelről-pixelre (pixel méret: 50x50 μm^2) kiolvasásra kerül a töltés kép. A felvillanó fény információkat egy speciális multiplier érzékeli, az így keletkező jelek megfelelő processzálása után, a vizsgálati tárgy radiográfiai képe, az egység monitorán jelenik meg. Lehetőség van a különböző képfeldolgozási eljárások alkalmazásával a radiográfiai kép optimalizálására. A technika további előnye, hogy érzékenysége ~25-szöröse a filmes módszernek (rövidebb megvilágítási idő elegendő - kisebb a sugárterhelés), széles és lineáris a dinamika tartomány, közvetlenül kerül a digitális kép a letapogatóból a PC-be, integrális típusú detektor és az IP lemez kiolvasás után

törölhető, legalább 1000-szer újra használható. Egy további járulékos előnye is van, nincs szükség sötétkamra technikára és nincs szükség vegyszeres kezelésre, ezáltal megakadályozhatjuk, hogy minél kevesebb szennyező, környezetkárosító anyag jöjjön létre és kerüljön ki a környezetbe. Kétségtelen, hogy magas szintű műszaki és környezeti feltételeket igényel a telepítése, és csak magas szintű képzésben részesült személyzet (RT3; PhD) üzemeltetheti.



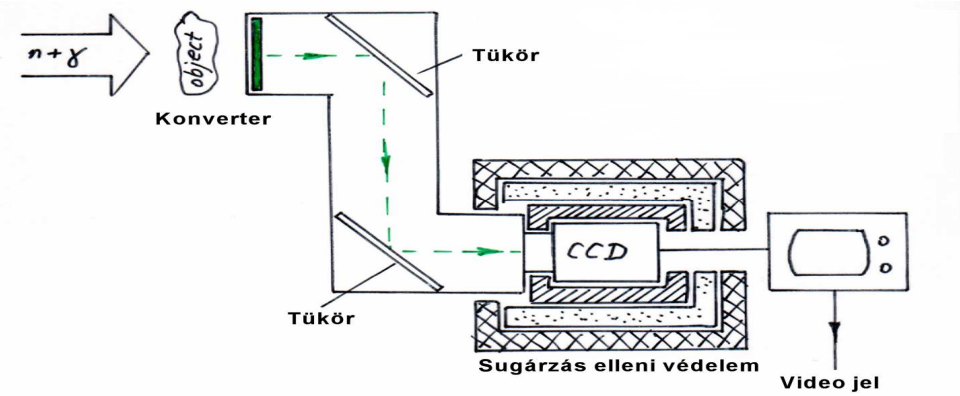
2. ábra. Az IP lemez és röntgen film technika összehasonlításának néhány jellemzője

A baloldali függőleges koordináta tengelyen a detektálás intenzitása (érzékenység), a jobb oldalin az optikai sötétedés értéke van feltüntetve, míg a vízszintes tengelyen a sugárzás dózisának értéke látható. Megfigyelhető, hogy az IP lemez már egészen alacsony dózis értékeknél is érzékel és végig lineárisan viselkedik az egész detektálási intervallumban.

2.2. CCD kamerás módszer

A CCD, mint fényt elektromos jellé alakító eszköz, nagyon sokrétűen alkalmazható, olyan területeken ahol a digitális képrögzítés a cél. A CCD kamerák elterjedését a félvezető gyártástechnológia nagy mértékű fejlődése tette lehetővé. A nukleáris reaktorok nyújtotta, a rendkívül érzékeny gáz diffúziós technológiai lépést kiiktató, a tömb egykristályon belül végrehajtható szilicium-foszfor átmenet előállítása, lehetővé tette a ”hibamentes” félvezető lapkák létrehozását, amelyek nélkülözhetetlen feltételei a CCD eszközök gyártásának. Fontos része a CCD kamerának az átalakító és a hűtőrendszer valamint a csatlakozó számítógép is elengedhetetlen kellék.

A CCD kamerás digitális radiográfiai képfelvevő elrendezés vázlata a 3. ábrán látható.



3. ábra. A CCD kamerás digitális radiográfiai képfelvevő elrendezés vázlata

Munkánk során a nagyon kis fényességkülönbségeknek is jelentős szerepe van ezért fontos, hogy a rögzíteni kívánt kép finom részletei is megfigyelhetők legyenek, ennek érdekében jó felbontású átalakítóra van szükség. Esetünkben a vizsgálati tárgy által keltett sugárzások árnyképét egy sugárzás fényátalakító lemez teszi láthatóvá. A kilépő, kis intenzitású fény, egy tükörről reflektálódva kerül a képalkotó, távvezérelhető zoom optikával felszerelt nagyérzékenységű CCD kamerába. A sötétáram szobahőmérsékleten akár néhány másodperc alatt telítésbe viheti a pixeleket, ez a jelenség csökkenthető, vagy akár meg is szűntethető hűtéssel. A CCD kamerát kétkörös Peltier-elemes hűtőbordával láttuk el. A PC feladata a kamera vezérlése, a kép megjelenítése, annak tárolása és rögzítése. A felvétel digitalizált képe tehát a PC monitorán jelenik meg. A számítógépnek legalább akkora memóriája kell, hogy legyen, amekkora a kép információ tartalma, viszont ha ezen a számítógépen történik a képfeldolgozás akkor egy nagyobb teljesítményű gépre van szükség. A képek felvétele egyidejűleg DVD lemezre és hagyományos S-VHS videómagnóra is rögzíthető.

A képalkotó rendszer főbb adatai:

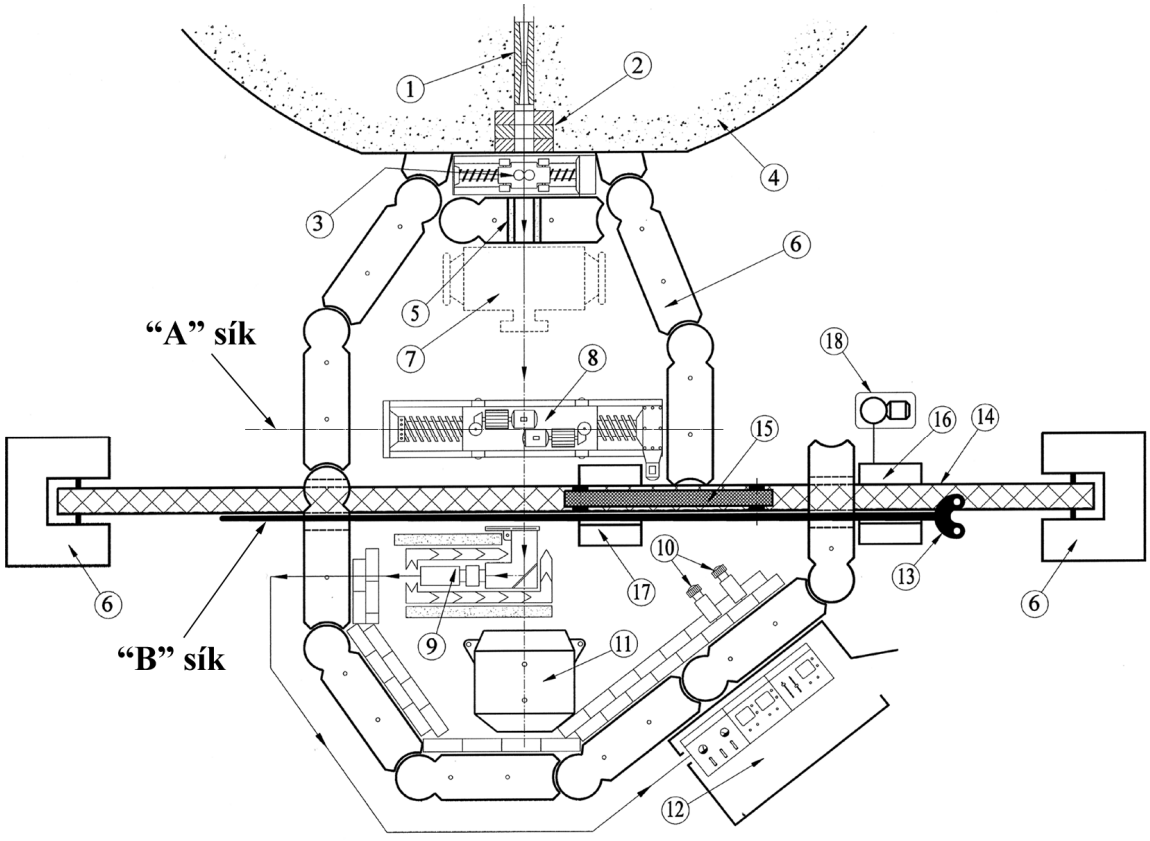
- érzékenység: 10^{-5} lux; 10^{-6} lux (Peltier hűtés); 10^{-7} lux (nitrogén hűtés)
- képfelbontás: 100-300 μm
- képalkotási idő: 40 msec-400 sec
- A/D konverzió: 10 bit

2. Mérőberendezés

A Budapest Kutatóreaktor 2. számú csatornájánál telepített dinamikus radiográfiai állomáson lehetőségünk van neutron- és röntgenradiográfiai felvételek készítésére [1]. A neutronradiográfiai felvételek kiértékelése során információt kapunk a kompozit anyagok kötési és ragasztási felületeinek illeszkedéseire illetve esetleges eltéréseire. Vizsgálhatjuk a szektorok közötti tömítések épségét, valamint a szektorokba beszivárgó víz eloszlását. A röntgen radiográfiai mérésekből következtethetünk a felverődő és a szerkezetbe becsapodó fém alkatrészek helyéről, méretéről, valamint információt kapunk a jégtelenítő rendszer vezetékeinek állapotáról. A 3. ábra a dinamikus radiográfiai mérőberendezés vázlatát mutatja be.

A neutron és gamma sugárnyaláb a reaktor vízszintes, termikus csatornájában kialakított pontszerű komplex kollimátoron keresztül érkezik. A neutron radiográfiai állomás kollimációs tényezője 197 (L/D arány (D – a kollimátor bemeneti apertúrájának átmérője, L – a bemeneti apertúra és a sugárzás fény átalakító lemez közti távolság)). A minta helyén a neutronfluxus $10^8 n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ és a sugárnyaláb átmérője 220 mm. A vizsgálati tárgyak a reaktorfaltól 2 m-re - ”A” sík- és 2,8 m-re - ”B” sík-helyezhetők a sugárnyaláb tengelyére merőlegesen távvezérelhető módon, a vizsgálandó forgószárnylapátok a ”B” síkban mozgathatók.

A mérőhelyen vizsgálható tárgyak legnagyobb felülete: 10000x700 mm^2, a távvezérelt mozgató mechanizmus 250 kg-os tárgyak pozicionálására alkalmas. A röntgenradiográfiai vizsgalátokra egy Szuper Liliput típusú hordozható röntgenkészüléket alkalmaztunk, amelyet a sugárnyaláb poziciójának megfelelően állítottunk be, a besugárzott terület 150x160 mm^2. A forgószárnylapátok vizsgálatára a 3. ábra 9-el jelölt képfelvevő rendszerét használjuk.



3. ábra. A radiográfiai mérőhely elrendezésének vázlata:

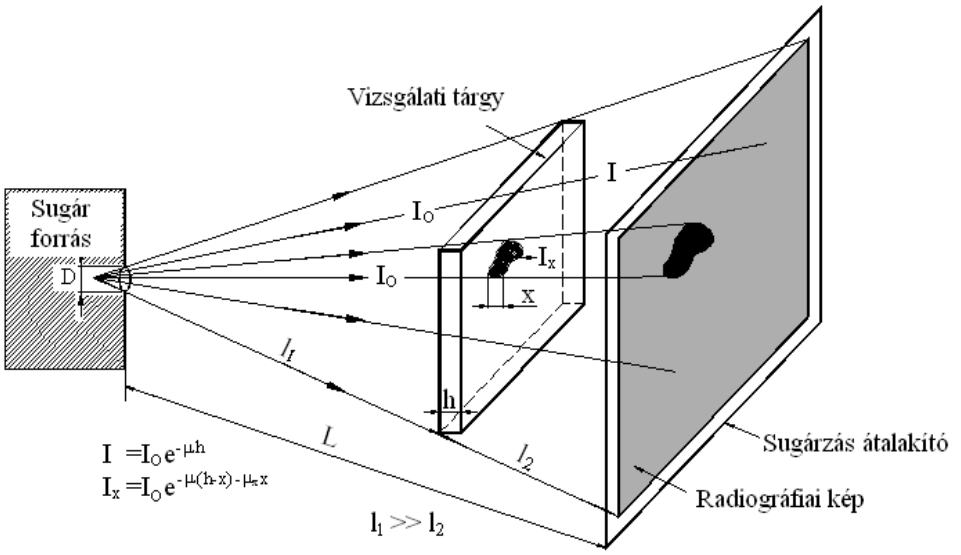
1. Belső kollimátor, 2. Vas zárszerkezet, 3. Nyalábátmérő változtató és szűrő egysége, 4. Reaktorfal, 5. Külső kollimátor, 6. Biológiai védelem, 7. Röntgen generátor helye, 8. Vizsgálati tárgy a hagyományos, távvezérelhető mozgató mechanikával, 9. Képalkotó rendszer nagyérzékenységű TV kamerával, 10. Háttér TV kamerák, 11. Sugárnyaláb csapda, 12. Mérőfülke, 13. Rotorlapát (~10m), 14. Rotorlapát mozgatósín (~20m), 15. Rotorlapát mozgatókocsi, 16. Nedvesítő berendezés, 17. Szárítóegység és a 18. Nyomásfokozó szivattyú

3. A radiográfiai képalkotás sajátosságai

A radiográfiai vizsgálat alapja, hogy a mintán áthaladó, vagy elnyelődő, illetve szóródó sugárzás a minta hibáinak, jellemzőinek megfelelően a minta mögött elhelyezett sugárzás-fényátalakító lemezen képet hoz létre. A sugárzás és a tárgy közötti kölcsönhatás eredményeként jelenik meg a tárgy radiográfiai képe a sugárzás-fény átalakítón, vetületi képként, amint ez a 4. ábrán látható. A hibák, mint pl. a ragasztási anyagok sajátosságaiból adódó gyantadús illetve gyantahiányos területek kialakulása, ezek folytonosságának esetleges megváltozása, a korrozió megjelenése, rejtett fém alkatrészek kimutatása, továbbá a víz beszivárgás eloszlása eltérő kontrasztú területeket eredményez a radiográfiai képen. Attól, hogy milyen sugárforrást használunk a kép előállítására, beszélünk neutron-, gamma- és röntgenradiográfiáról. Az anyagon áthaladó sugárzás intenzitása a vizsgálati tárgyra jellemző paraméterek függvényében változik, amint azt a sugárgyengülési törvény leírja:

$$I = I_0 e^{-\mu \cdot h} \tag{1}$$

ahol, I_0 – a sugárzás intenzitása a vizsgálati tárgy elött, I – a sugárzás intenzitása a vizsgálati tárgy mögött, μ - tömeggyengítési együttható és h – az anyagvastagság. Az (1) számú egyenlet a homogén μ tömeggyengítési együtthatóval és h vastagsággal rendelkező anyagon áthaladó sugárzás intenzitás változását írja le. A 4. ábrán látható második egyenlet, egy x vastagsággal és μ_x tömeggyengítési együtthatóval rendelkező anyagfolytonossági hiányt tartalmazó részen áthaladó sugárzás intenzitás változását írja le. A fém és műanyag kompozit szerkezetek esetén is találkozhatunk ezzel a hibajelenséggel.

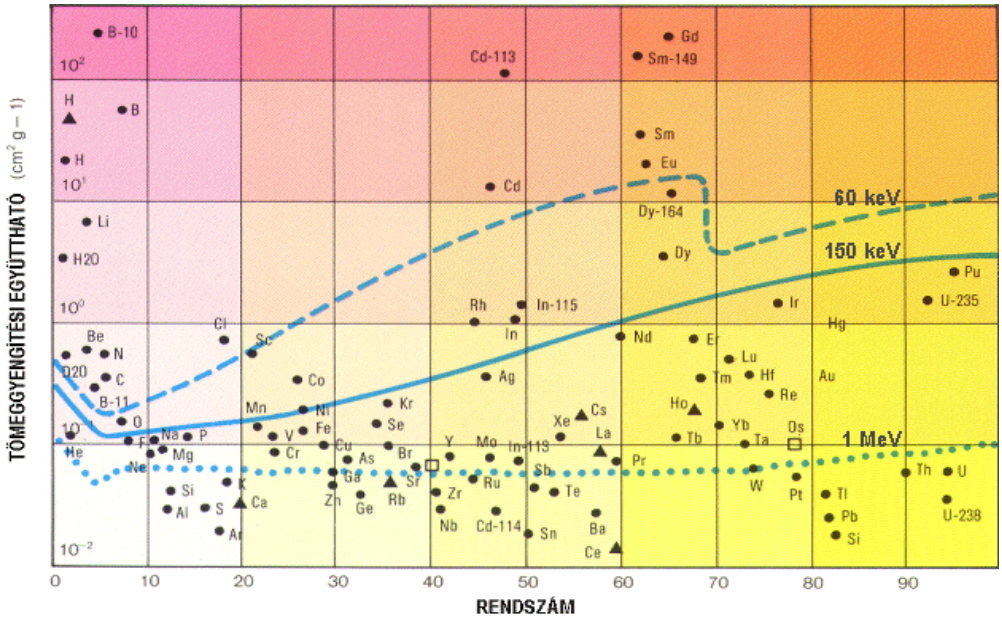


4. ábra. Radiográfiai képalkotás vázlata.

A 5. ábra az egyes elemekre vonatkozó tömeggyengítési együtthatókat mutatja be az elemek rendszámának a függvényében [2]. Az 1 MeV pontvonal a gammasugárzáshoz, míg a 60 KeV-os

szaggatott és a 150 keV-os vonal pedig a röntgensugárzáshoz tartózó tömeggyengítési együtthatókat ábrázolja.

A röntgen- és gamma sugarakat a nagyobb rendszámú elemek jobban gyengítik, ez folytonosan változik a rendszámmal, a semleges töltésű neutronokra ilyen egyértelmű összefüggést nem lehet megállapítani, amint az ábrán látható diszkrét, fekete pontok is mutatják. A neutronsugárzásra vonatkozó tömeggyengítési együtthatók nem követik a rendszámmal való folytonosságot, az egymás melletti elemek is eléggé különbözőek tudnak lenni, ezért is tudjuk komplementer mérésként alkalmazni ott, ahol a röntgen mérésekkel megkülönböztethetetlen "helyeket" látunk. A neutron radiográfia előnye a röntgen- és gamma radiográfiával szemben még az, hogy az alacsony rendszámú anyagok esetében (pl. H_2 és vegyületei) sokkal erősebb a kontraszt és bizonyos elemek, valamint azok izotópjai jobban megkülönböztethetők.



5. ábra. Tömeggyengítési együttható (μ) változása az elemek rendszámának függvényében

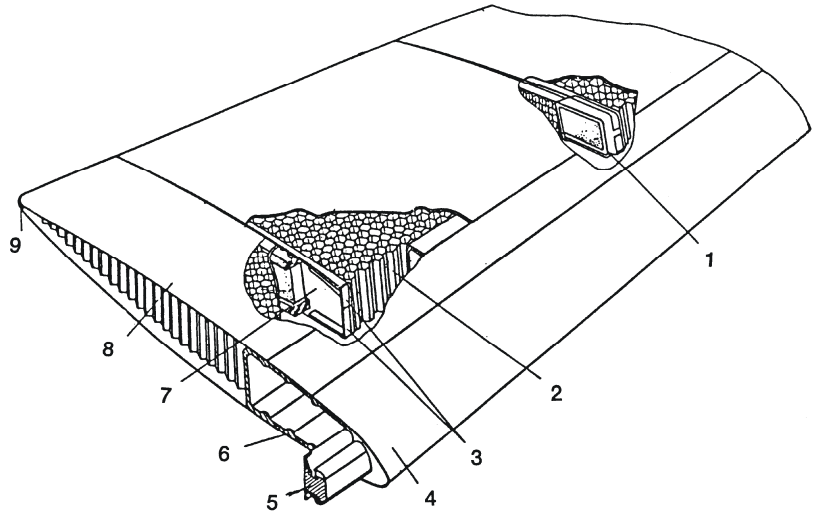
4. Vizsgálati tárgyak

A Magyar Honvédség Repülő Műszaki Szolgálat Főnökségének (MH RMSZF) megbízásából [3-5] Mi-2, Mi-8, Mi-17 és Mi-24 helikopterek fém kompozit szerkezetű forgószárnylapátokat és KA-26 helikopterek műanyag kompozit szerkezetű forgószárnylapátokat vizsgáltunk digitális radiográfiai módszerekkel.

4.1. Fém kompozit szerkezetű helikopter forgószárny lapátok

A Mi-24 helikopterlapátokat 19 szektor építi fel, a lapát paraméterei: 9,85 m hosszú, 700 mm széles, 65 mm vastagságú és 115 kg súlyú. Az általunk vizsgált helikopter forgószárnylapát keresztmetszetét a 6. ábra mutatja be. A szektorok könnyűfém ötvözetből készültek és 0,3 mm vastagságú borítással vannak ellátva. A szektorokat sejtrácsos anyag tölti ki, amelyeket alumíniumfóliából készült

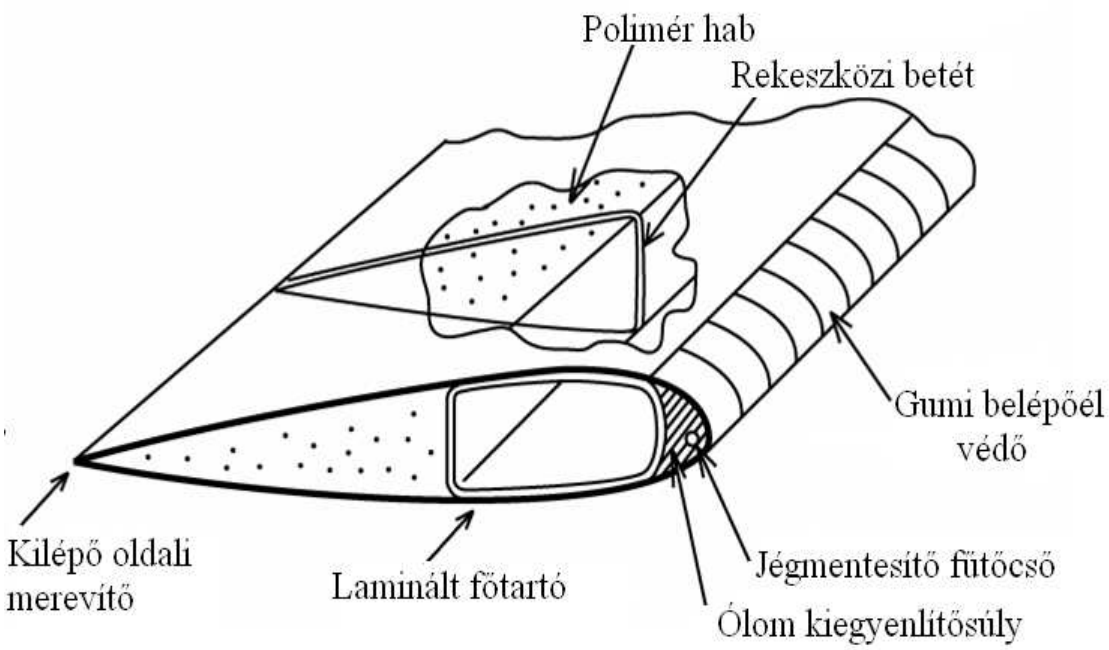
szalagkészlet alkot. A szektor a főtartó övléceihez és gerinclemezének hátsó feléhez van ragasztva. A tömítőbetétek megakadályozzák a szektorok közötti levegő áramlását. A nedvesség eltávozása a végrekeszekből és a végborda tőrészéből, leeresztő furatokon és levegőző nyílásokon át történik.



6. ábra. Helikopter forgószárnylapát felépítése: 1. Rekeszközi betét, 2. Sejtrácsos töltőnyag, 3. Talp, 4. Jégtelenítő, 5. Ellensúly, 6. Főtartó, 7. Borda, 8. Borítás és 9. Hátsó hosszmerevítő

4.2. Műanyag kompozit szerkezetű helikopter forgószárny lapátok

A Kamov 26 típusú helikopterek forgószárnylapátjainak a vizsgálatát is elvégeztük, ami műszaki szempontból igen fontos az élettartam növelése érdekében. Hazánkban ezt a helikopter típust a mezőgazdaságban használják. Ezekben, a lapátot a vezérműhöz csatlakoztató gyök és a rezgéscsillapító flatter súlyok készültek csupán fémből. A főtartó laminált üvegvázas, a borítása üvegszál-erősítésű műanyag, az üreges szárnyprofilt műanyaghabbal töltötték ki. A vizsgált lapátok a következő szerkezeti paraméterekkel rendelkeznek: hosszúk 6,5 m, szélességük 320 mm, súlyuk 11,5 kg. Keresztmetszeti vázlatukat a 7.ábra mutatja be.



7. ábra. Ka-26 helikopter forgószárnylapát felépítése

Feltárható rendellenességek

A használatban lévő repülőeszközök leggyakoribb meghibásodására mutatunk rá az 1. táblázatban, amely összefoglalja a kompozit szerkezeti anyagokban előforduló hibalehetőségeket és azok részletes leírása is kiolvasható. Az előforduló meghibásodásokat amerikai szerzők csoportosították [6] és ennek a tematikának a segítségével tárjuk fel az általunk vizsgált forgószárnylapátok hibalehetőségeit, amelyeket az 1. táblázatban foglaltunk össze. A leggyakrabban a gyantában, a ragasztóban dús illetve hiányos területekkel, a felverõdésekbõl származó felszíni sérülésekkel találkozunk, amelyek a belsõ formakitöltõ méhsejt szerkezetek torzulásait okozzák, de a lövészeteken felcsapódó repeszek is zárványként jelennek meg a szektorokban. A szektorok közötti tömítések közé beszivárgott víz sem tud mindig kikerülni onnan a szellõzõnyíláson keresztül, gyakran bekerül a méhsejt szerkezetbe. A lapátok függőleges vagy vízszintes tárolási poziciójától függően, a víz elérheti a főtartóhoz való ragasztási felületeket, ami kritikus lehet, hiszen ez a ragasztás tartja a felhajtóerőt biztosító szektorokat. Télen kell különös körültekintéssel lenni erre a problémára, hiszen a víz beszivároghat és megfagyhat a ragasztási felületen, ha a hibát nem észlelik, akár végzetes balesethez is vezethet.

Hiba	Leírás
Rétegelválás	Rétegelválás, egy réteg lapjainak elválása, oka a helytelenül előkészített felület, szennyeződés és idegen anyag beágyazódása.
Bezáródás	Bezáródás, ha idegen anyag beágyazódik, vagy a réteg közé kerül.
Üreg és porozitás	Üreg és porozitás befogott levegő és gázbuborék, okai; párolgó anyagok, a gyanta szennyezett repedése és egyenlőtlen eloszlású nyomás. Üregek gyűlnek össze a gyantában, mivel zacskók vannak a szilárd anyagban.
Gyantában gazdag	Gyantában gazdag behatárolt rész, megtöltve gyantával vagy szálakban

terület	hiányos. Ezt a hibát helytelen tömöttség, vagy szivárgás okozza.
Gyantahiányos terület	Gyantahiányos terület, elégtelen gyantával behatárolva nyilvánvalóan száraz folt, vagy fénytelen, vagy látszanak a szálak.
Szálak rossz egyezése, gyűrődés, deformáció	Szálak rossz egyezése, elferdülés a rétegeződésben, amely eltér a kívánt elhelyezéstől, vagy a szálak gyűrődése és deformációja. Ezt a hibát helytelen elhelyezés és kezelés okozza.
Száltörés	Törött szálak megszakítottak vagy rosszul elhelyezettek oka helytelen kezelés, vagy elhelyezés
Elválás	Elválás különböző részek között történik a több elemből álló szerkezeteknél. Kötéshiányt a felület szennyeződése, túlzott nyomás, vagy rossz illesztés okoz.

1. táblázat Kompozit szerkezetek hibáinak leírása

5. Mérések

Célunk tehát minél pontosabb és biztonsági szempontból fontos állapot-felmérést készíteni és leírást adni, az általunk vizsgált forgószárnylapátok állapotáról. Munkánk során azt láttuk, hogy az alkalmazott neutron- és röntgen radiográfiai mérések alkalmasak a fém- és a műanyag kompozit anyagokból készült forgószárnylapátok komplementer vizsgálatára. A következő alfejezetekben a kapott eredményeket mutatjuk be.

5.1. Fém kompozit szerkezetű helikopter forgószárnylapátok mérése

A fém kompozit szerkezetű lapátok vizsgálatára alkalmazott radiográfiai mérések eredményeként információt kapunk a lapátot felépítő szektorok belső szerkezetének állapotára vonatkozóan. Elsőként a digitális radiográfia nagyfelbontású képfelvevő eszközét alkalmaztuk, az Imaging Plate technikát. Kétféle lemez méretet használtunk, 200x250 és 20x40 mm^2-t, mindkettő dinamikája 16 bit volt, a pixel mérete pedig 50x50 mikron. A képek kiolvasására BAS 2500 típusú letapogatót használtunk, a képek 40 -, illetve 60 MB kiterjedésben kerültek rögzítésre.

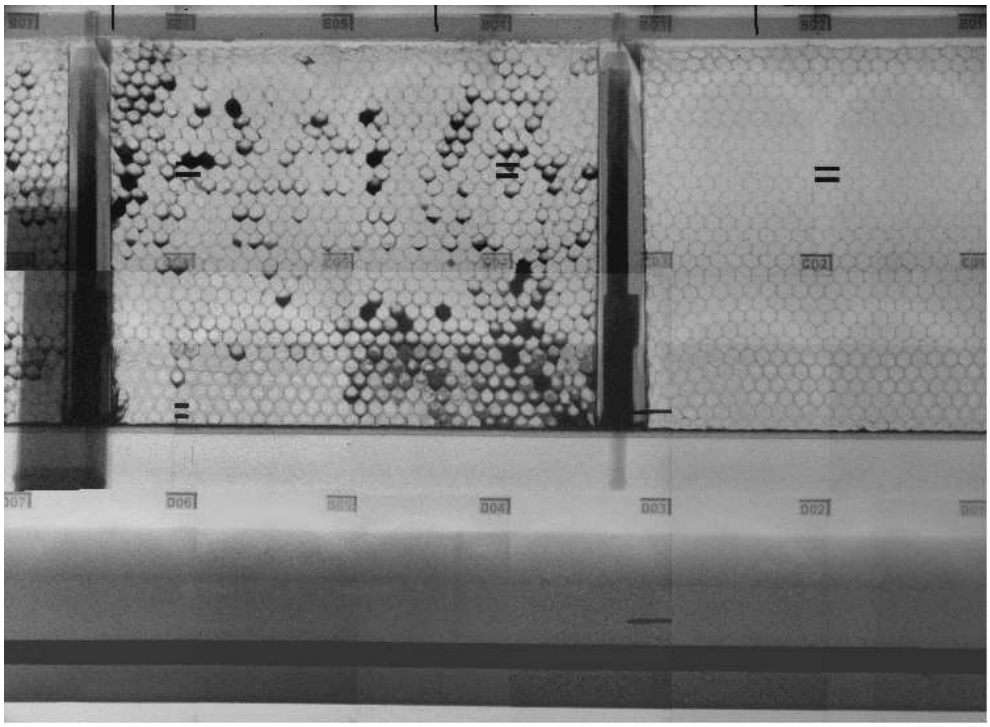
A digitális röntgen radiográfiai mérés során BAS MS 200x400 típusú, 200x400 mm^2 méretű röntgensugárzásra érzékeny IP lemezt használtunk. A 8. ábrán a vizsgált lapátrészletet láthatjuk, a két szektorhatárolót és annak környezetét, jól megfigyelhető a méhsejtrácsos töltőanyag, valamint a főtartó részletes felépítése.

8. ábra. Mi-2 helikopter rotorlapát részlet röntgen-radiográfiai képe

Az ábrán látható szám-kódos jelzések a felvételi képmezők azonosítására szolgálnak, a lapátok mezőnkénti letapogatása nagyfokú precizitást igényelt, ezek segítségével tudtuk megkomponálni az egész lapát radiográfiai képét. A XR képen a szektorhatárolók szomszédságában lévő méhsejtrács elváltozása figyelhető meg. Egy egész szektort figyelve azt látjuk, hogy sötét foltok vannak jelen, az alsó felét tekintve, a főtartóhoz kapcsolódva növekszik a sötét foltok száma, míg a felső félben elszórtabban jelennek meg. A sötét foltok a víz beszivárgásnak a következményei, az el nem párolgó és ki nem folyó víz bekerül a méhsejtrács szerkezetbe, ahonnan nem tud távozni. A szektor alsó felében tapasztalt több sötét folt azt jelzi, hogy a bekerült víz lefolyt és a főtartóhoz kapcsolódó felületen gyűlt össze. A felvétel alján jól láthatók a jégtelenítő rendszer fűtővezetékei, amelyek az ellensúly fölött helyezkednek el. A jégtenítő rendszernek igen fontos szerepe van, ezért vizsgálata körültekintést igényel. Az XR felvétellel részletes információt kapunk a kiegyenlítősúlyok állapotáról anélkül, hogy szét kellene szedni a lapátot.

A neutron radiográfiai mérés során, neutronsugárzásra érzékeny IP lemezt használtunk, amely BAS ND 20x25 típus jelzéssel rendelkezett és mérete 200x250 mm^2 volt. A 9. ábrán a részben már tárgyalt szektor neutron radiográfiai képét láthatjuk. Azt tapasztaljuk, hogy a víz beszivárgás alkotta hibákat sokkal élesebben látjuk, ami alátámasztja a neutron radiográfia használatának előnyét, hiszen rendkívül pontos információkat kapunk a hidrogéntartalmú anyagok okozta hibákról. Jóval nagyobb mennyiségű vizet figyelhetünk meg, mint az előzőleg rögzített XR felvételen. Aggodalomra ad okot ez a vizmennyiség, hiszen nagyobb roncsolást eredményezhet, pl. fagypont alatti hőmérséklet alatt, jéggé

válva, ami a ragasztási felületeket tönkreteszi. A szektorok egymáshoz való illesztése tömítő anyaggal történik, nyomon követhető a tömítő felületek épsége.

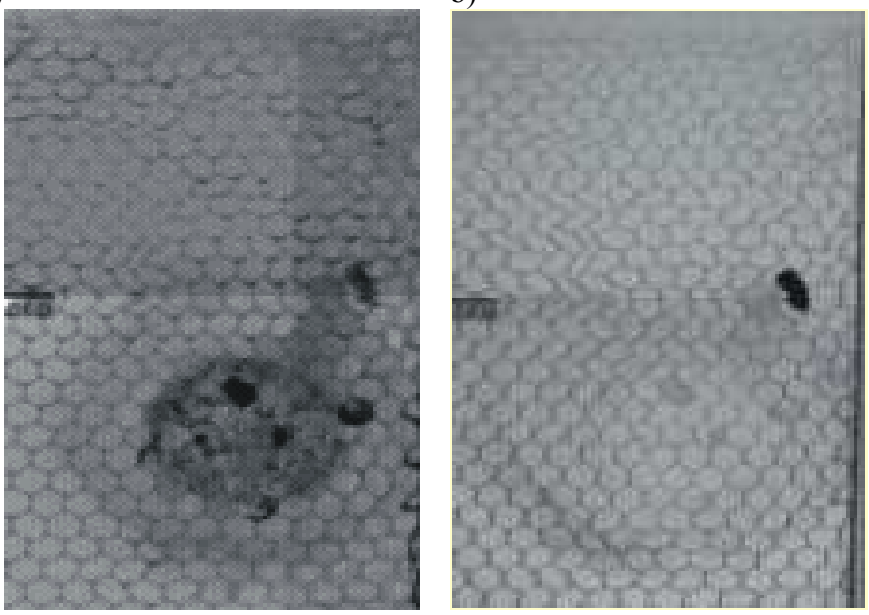


9. ábra. Mi-2 helikopter rotorlapát részlet neutron-radiográfiai képe

A 10. ábrán javítás után látjuk a szektort kitöltő méhsejtrács neutron- és röntgen radiográfiai képét. Megtaláltuk a felcsapodó fém-szilánkok beágyazódása okozta hibát, ennek javítása utáni felvételét mutatjuk be. A 10.a) ábrán a neutron radiográfiai kép alsó felében nagykiterjedésű javítási gyantafoltot láthatunk, valamint a javítási pontok is halványan kirajzolódnak, a fém-szilánkok okozta sérüléseket gyantával való kitöltéssel javították ki. A kép baloldalán, középen a képmezők azonosítására használt jelölés látható. A kép jobbközepén egy elmosódott sötétebb folt figyelhető meg, ami jól látható módon külső hatásra került a szerkezetbe, nem része a méhsejtrácsnak.

A 10.b) ábrán a röntgen radiográfiai képet látjuk, a kiterjedt gyanta folt eltűnik a neutron radiográfiai képhez viszonyítva, viszont a jobbközépen nagyon erős kontraszttal kimutatható az a fekete folt, ami a szerkezetbe csapódó fémszilánkot mutatja meg. A XR méréssel pontosabban meghatároztuk a felcsapódást követő fém beágyazódást, ezzel információt tudunk adni a mindenkori fémalkatrészek okozta sérülésekről, aminek felderítése és javítása nagymértékben megnöveli a lapát élettartamát és biztonságos használatát.

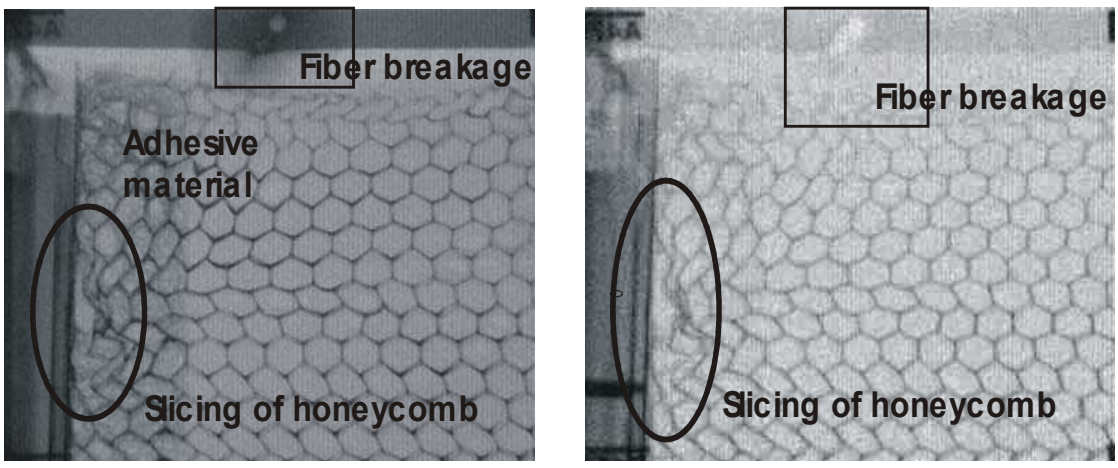
a) b)



10. ábra. Repesz behatolási sérülés javítás utáni neutron (a) és röntgen (b)-radiográfiai képei

A 11. ábrán a rekeszbordához ragasztott méhsejtrács erős torzulására kapunk információt. A neutron- és röntgen radiográfiai méréseket, a kilépőél javításának minőségellenőrzésére végeztük. A 11.a) kép felső közép részében látható a kilépőél javítása utáni felvétel, a javítást az anyaghiány gyantakitöltésével oldották meg. A 11.b) ábrán a röntgen radiográfiai képét láthatjuk, hogy a kilépő él sérülése figyelhető meg ezen a felvételen, követhető a sérült üvegtextolit anyag hiányossága. Mivel a neutron radiográfia érzékenyebb a hidrogént tartalmazó anyagok észlelésére, ezért látjuk élesebben a kisebb sűrűségű javítási gyantafoltot a neutron radiográfiai képen.

a) b)

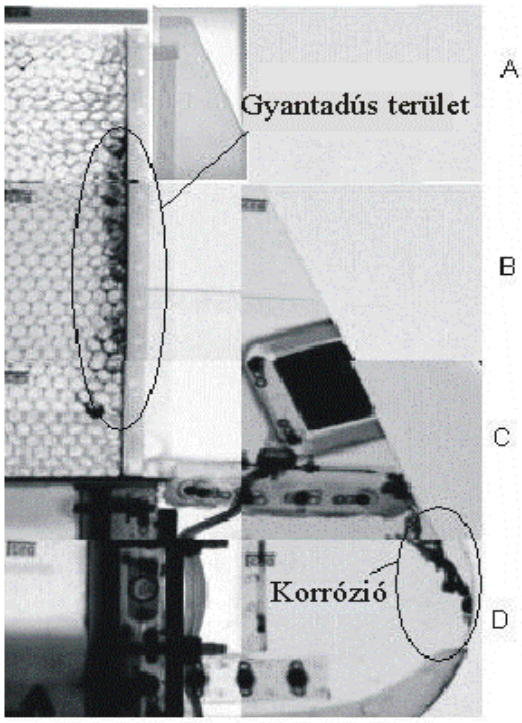


11. ábra. Kilépőél javítás NR (a) és XR (b) képei

A fém kompozit szerkezetek hibái kimutathatók neutron- és röntgen radiográfiai módszerekkel, a bemutatott vizsgálatoknál láttuk, hogy a hibák feltárására mindkettőt érdemes elvégezni. Azonban azt is láthattuk, hogy a nagyobb rendellenességek mindkettővel megtalálhatók, ez azért is fontos, mert

nem minden esetben tudunk komplementer vizsgálatot végezni, de a hibákat a repülés biztonság érdekében meg kell találni. Ezért ha nem is vagyunk egy reaktor közelében, ami lehetőséget biztosít a neutron radiográfiai mérésekre, azért egy hordozható és telepíthető röntgen radiográfiai készülékkel, akár a helyszínen is elvégezhetők az elsődleges, és némely esetben, elégséges vizsgálatok, úgy mint a nagy mennyiségű víz kimutatása, fém szilánkok becsapódása, jégmentesítő fűtésvezetékek állapotvizsgálata.

Megvizsgáltuk a helikopter forgószárnylapátokat felépítő szektorok belső szerkezetének az állapotát, azonban még egy fontos alkatrész esetleges hibalehetőségeit kell megvizsgálnunk, amely a lapát leginkább igénybevett része. A lapátot lezáró végelem neutron radiográfiai képét láthatjuk a 12. ábrán. A neutron radiográfiai mérés során a képalkotási síkban lévő ZnSAg/Li^6 tartalmú szcintillációs lemez alakítja fénnyé a neutron nyaláb alkotta képeket, amelyeket nagyérzékenységű TV kamera tesz láthatóvá. A CCD kamerával készült digitális felvételeket ez esetben a PULSAR program segítségével értékeltük ki. A végrekeszt lezáró elem 8 felvételi képmezőre van felosztva, a jobb megfigyelés és azonosítás céljából. Az A, B, C és D vízszintes sávjelölést véve alapul, azt mondhatjuk, hogy az A-B-C sávok első felében hosszanti gyantadús méhsejtcsoport figyeltünk meg az utolsó szektor végén. A C-D sáv második felében a fém lezáró elem belsejében korróziós terméket azonosítottunk.



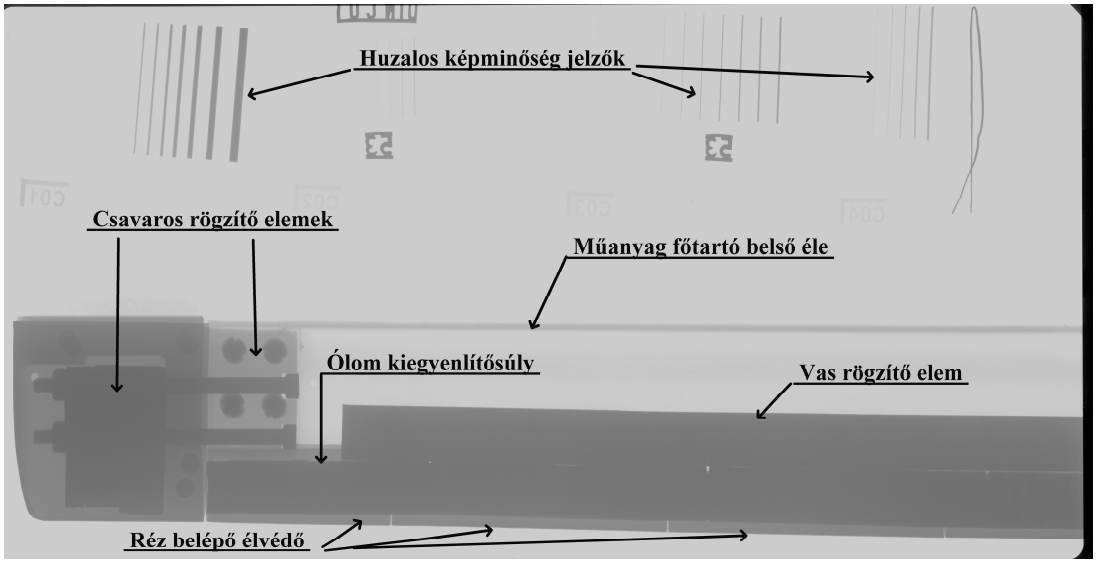
12. ábra. A rotorlapát vég elemének neutron radiográfiai képe

5.2. Műanyag kompozit szerkezetű helikopter forgószárny lapátok mérése

A műanyag kompozit szerkezetű helikopter forgószárnylapátok vizsgálatánál, szintén neutron- és röntgen radiográfiai méréseket alkalmaztunk a Budapest 10 MW teljesítményű kutatóreaktornál.

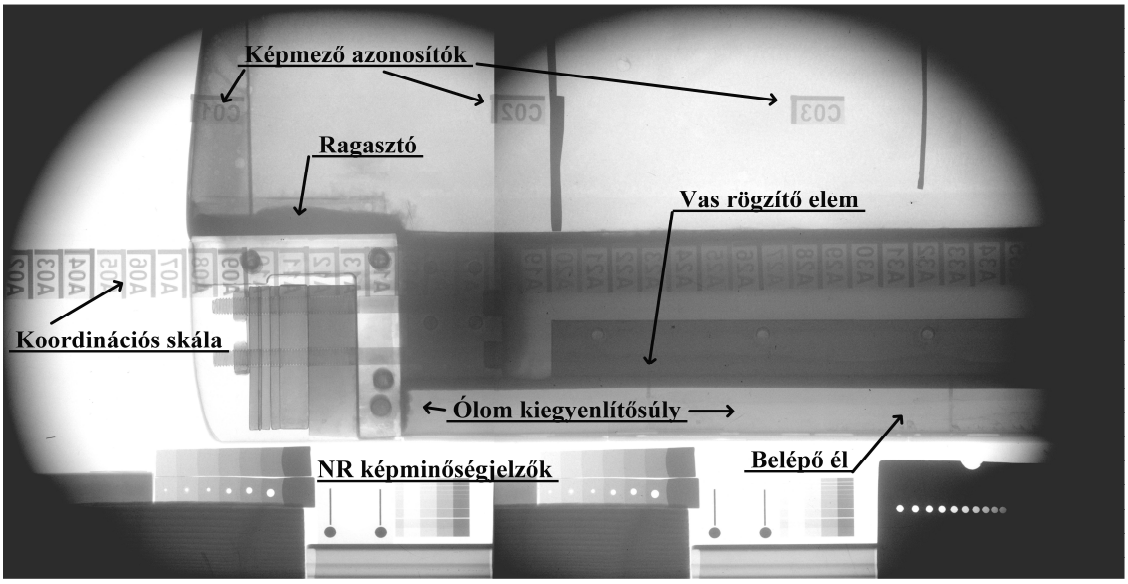
A digitális röntgen radiográfiai mérés során, a BAS MS 20x40 jelzésű, 200x400 mm^2 kiterjedésű röntgensugárzásra érzékeny IP lemezt használtuk. A 13. ábrán a Ka-26 helikopter

forgószárnylapátjának végelemét látjuk. Előző vizsgálatainkkal összevetve, nagyon eltérő képet kapunk, a fém- és műanyag kompozitok nagyfokú eltérése jól megfigyelhető. A műanyag alapú kitöltés alig érzékelhető, ez a kép felső részét alkotja, itt jórészt csak a huzalos képminőség jelzők láthatók. Azonban pontosan kirajzolódnak a képminőség jelző fémhuzalok és a fémkomponensek a radiográfiai kép alsó részében. A kép vizsgálata azt mutatja, hogy a fém alkatrészek állapotáról nagyon pontos leírást adhatunk. Megfigyelhetjük a műanyag főtartó belső éle alatti rögzítő elemeket, a kép baloldalán a csavaros rögzítő elemekről kapunk információt, innen kiindulva a vas rögzítő elem hosszanti vizsgálatát tudjuk elvégezni, amely egész élesen rajzolódik ki. Ugyanitt figyelhetjük meg az ólomból készült kiegyenlítő súly elhelyezkedését, valamint a rézből készült belépő élvédőket.



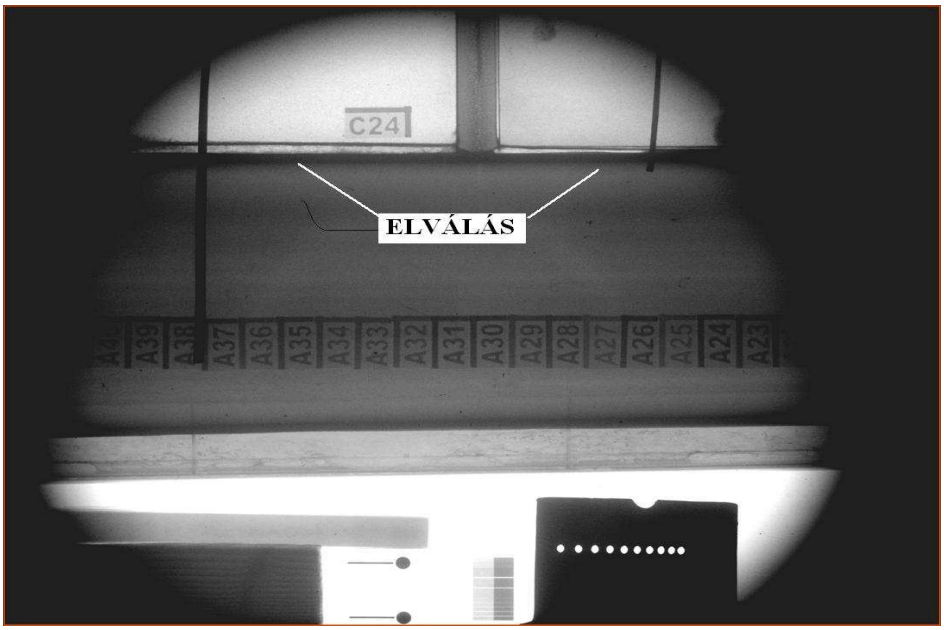
13. ábra. Ka-26 helikopter rotorlapát vég elemének röntgen radiográfiai képe

A neutron radiográfiai mérések során 100 mm vastag ólom szűrőt alkalmaztunk, a sugárnyaláb intenzív gamma-sugárzás tartalmának káros hatásának elkerülésére (kb. 8,3Gy/h). Ez esetben neutronsugárzásra érzékeny IP lemezt használtunk, amely BAS ND 20x25 típus jelzéssel rendelkezett és a mérete: 200x250 mm^2. A 14. ábrán a Ka-26 gép forgószárnylapát végelemének neutron radiográfiai képe látható, és az előző képhez viszonyítva, szembeötlő a különbség. A kép felső részében a képmező azonosítók láthatók, majd a műanyag főtartó és az alatta elhelyezkedő fémrögzítők rajzolódnak ki. A rögzítésnél megfigyelhető a ragasztási felület. Alatta látható a koordinációs skála, amely a geometriai eligazodást könnyíti meg. Sokkal élesebben elkülönül az ólom kiegyenlítősúly a vas rögzítő elemtől, amelyek az XR esetén homogén képként voltak láthatók. Előbbi világosabb képet adva, míg a vas rögzítő elemre sötét kirajzolódás jellemző. Az ólom kiegyenlítősúly ragasztva van a főtartóhoz, ezt a ragasztást is ellenőrizni tudjuk. A belépő él alatt a NR képminőség jelzők láthatók.



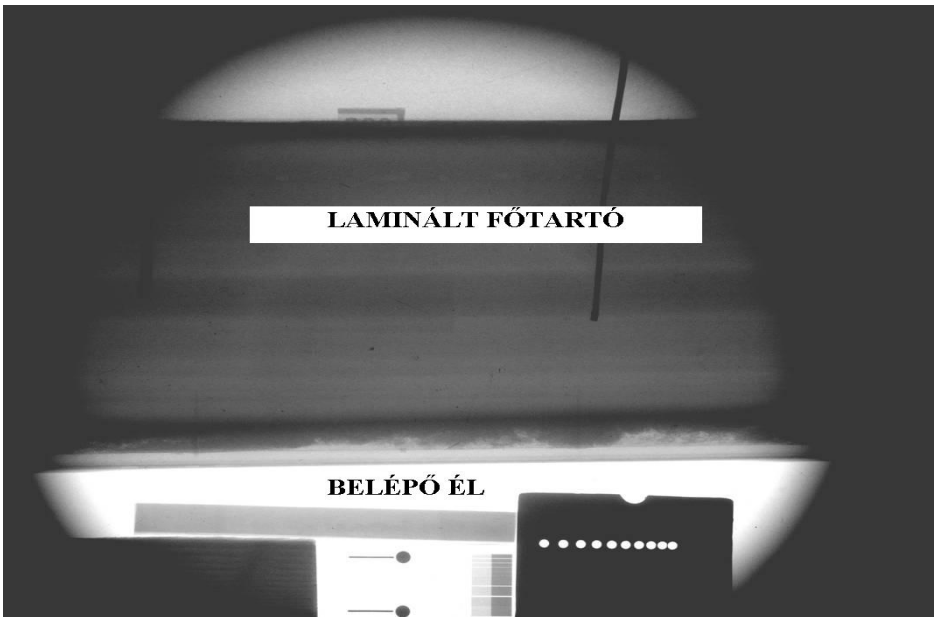
14. ábra. Ka-26 helikopter rotorlapát vég elemének neutron radiográfiai képe

A fent bemutatott neutron radiográfiai módszerrel vizsgáltuk a főtartót és a rajta elhelyezkedő szektorsorozatot. Azt látjuk a 15. ábrán, hogy a C24-es képmező jelölés alatt, valamint a rekeszközi borda mindkét oldalán, szimmetrikusan a bordához képest, a főtartó és a szektorok illeszkedésénél elvállás alakult ki. A kép alsó felén szintén a koordinációs skála van feltüntetve, valamint a NR képminőségjelzők láthatók.



15. ábra. Szektor és főtartó közötti elvállás NR képe egy Ka-26 rotorlapátban

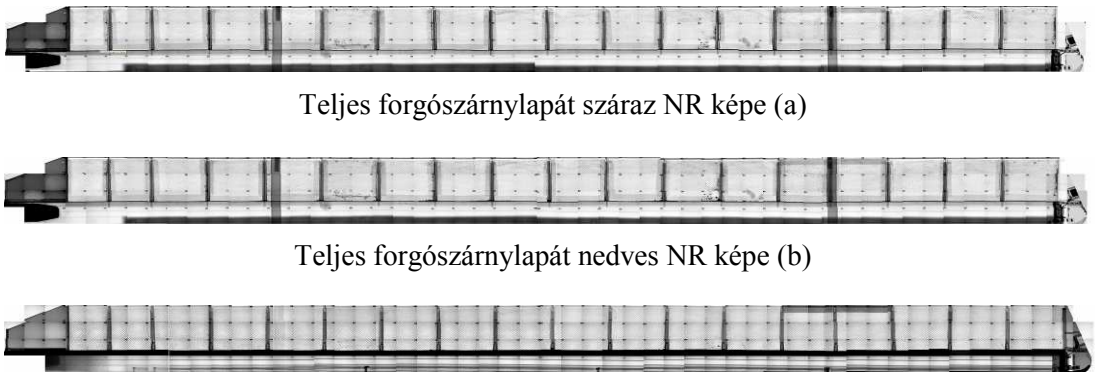
A 16. ábrán a Ka-26 rotorlapát belépő él részletének neutron radiográfiai képét mutatjuk be. A lapát belépő élében elhelyezkedő ólom kiegyenlítősúly kitöltési hiányosságát figyelhetjük meg, amelyet az okozott, hogy a sárgarézből készült kilépő élvédő rögzítésére használt ragasztó, részlegesen feloldotta helyenként az ólom kiegyenlítősúlyt, ami hosszú távon veszélyes sérülésnek minősül.



16. ábra. Egyenlőtlen eloszlású kiegyenlítő súly részlet NR képe egy Ka-26 rotorlapátban

5. Teljes helikopter forgószárnylapátok radiográfiai képének előállítása

A helikopter forgószárnylapátokon száraz és nedvesítés utáni állapotban végeztünk neutron és röntgen radiográfiai méréseket, átlagosan egy lapát vizsgálata 636 db képmező felvételén keresztül történik. Ezek tartalmazzák az összes általunk észlelhető eltérést. Ahhoz, hogy a pontos állapotmeghatározást végre tudjuk hajtani, szükség van a teljes forgószárnylapát radiográfiai képeinek megkomponálására. A 17. ábrán a ROTOR PUZZLE feladatorientált soft-ware [7] segítségével összerakott teljes radiográfiai képegyüttest mutatjuk be.



Teljes forgószárnylapát száraz NR képe (a)

Teljes forgószárnylapát nedves NR képe (b)

Teljes forgószárnylapát nedves XR képe (c)

17. ábra. Teljes forgószárnylapát radiográfiai kép együttese.

6. Összefoglaló

Munkánk során a KFKI Atomenergia Kutatóintézet Budapest kutatóreaktoránál, az MH RMSZF és a HM Technológiai Hivatal felkérésére állapot meghatározást végeztünk Mi-2, Mi-8, Mi-17 és Mi-24 helikopter fémkompozit szekezetű forgószárnylapátokon. A Ka-26 helikopterek műanyagkompozit

szerkezetű anyagból készült forgószárnylapátok vizsgálatát is elvégeztük. A szerkezet állapotának meghatározásra digitális neutron- és röntgen radiográfiai méréseket alkalmaztunk. A méréseinknél kétféle digitális jelrögzítési módszert használtunk, az imaging plate (IP) technikát és nagyérzékenységű CCD kamera alkalmazásán alapuló képrögzítési technikát. A neutron radiográfiai mérések segítségével kimutattuk: a rekeszekbe bekerült vizet és annak eloszlását, a főtartó és szektorok közötti ragasztást, a gyantadús területeket és a felverődőtt fémalkatrészek helyét, valamint a korrózió megjelenésének helyét. A röntgen radiográfiai mérésekkel, választ kaptunk a nagy kiterjedésű vízbehatolásra és a fém-alkatrészek állapotára.

A két radiográfiai mérési technika egymást kiegészítve ad hibajelzést, úgy a fém- mint a műanyagkompozit szerkezetű helikopter forgószárnylapátok belső szerkezetében kialakult eltérésekről. A hibák azonosításával és kijavításával nagyban megnövelhetjük a lapátok élettartamát.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] BALASKÓ Márton and SVÁB Erzsébet, Dynamic Neutron Radiography Instrumentation and Applications in Central Europe, Nucl. Inst. and Methods in Physics Research, A377140 (1996).

[2] DOMANUS I. C., Practical Neutron Radiography Edited by I. C. Domanus, Kulwer Academic Publisher 1992.

[3] BALASKÓ Márton, G. Endröczi, J. Veres, Gy. Molnar, F. Körösi, Research of extension of the life cycle of helicopter rotor blade in Hungary. Proc. NATO conference for Applied Vehicle Technology Panel (AVT), Manchester October 7-11, RTO-MP-079(II) ISBN-837-1089-4, 2003, pp. SM 39.1-30.15

[4] BALASKÓ Márton, I. Veres, Gy. Molnár, Zs. Balaskó, E. Sváb: Composite structure of helicopter rotor blades studied by neutron- and X-ray radiography, Physica B, 350, 2004, pp. 107-109.

[5] BALASKÓ Márton, SVÁB Erzsébet, I. Veres, Gy. Molnár: Classification of defects in honeycomb composite structure of helicopter rotor blades, Nuc. Inst. and Method A542, Is. 1-3, 21, 2005, pp. 45-51.

[6] SEM J.K. and EVERETT R. A., In: RTO/NATO, ISBN 92-837-1051-7, 2000, pp. 5.5.21.

[7] BALASKÓ Márton et al, Composition of radiography pictures of whole helicopter rotor blades in Hungary, 7th WCNR Rome, 15-20. September 2002.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Tunyogi Dóra –Farkas Csaba

A REPÜLŐTECHNIKA ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A KATASZTRÓFAVÉDELEMBEN, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL; TERÜLET MEGFIGYELÉS, ÁRVÍZVÉDELEM, VEGYI- ÉS SUGÁRVÉDELEM FELADATOK

BEVEZETŐ

A katasztrófavédelmi feladatokat ellátó repülőgépek, helikopterek speciális szerkezeti kialakítást igényelnek, a követelmények meghatározzák a légi jármű rendeltetését, már a tervezés kezdeti szakaszában. Például, terület megfigyelésre célszerű a légi járművet, fényképező vagy mozgóképet rögzítő eszközzel ellátni és tekintettel lenni a minél alacsonyabb átesési sebesség biztosítására, vagy akár a jó kiláthatóság megoldása is elsődleges szempont lehet. A katasztrófavédelmi feladatokat ellátó légi járművek kapcsán olyan repülésbiztonságot érintő kérdések is felmerülnek, mint például a sugárvédelem. Gondolunk egyrészről a veszélyes árukat szállító (esetleg vegyi vagy sugárzó) légi járművekre. A repülésbiztonság kérdéskörébe tartozik, hogy mi a teendő abban az esetben, ha sugárveszélyes terület fölött, vagy annak közvetlen körzetében kell végrehajtani a repülési feladatot, ebből eredően a repülőtechnika és a repülőcsapatok egyedi, különleges felkészültséget igényelnek katasztrófaállapotok kezelése során. Megítélésünk szerint a katasztrófavédelem feladata több részterületre osztható fel, globális megfogalmazása összetett feladatköre következtében csak tágabb értelemben lehetséges.

A katasztrófavédelem főbb feladatait eredetükből kifolyólag alapvetően két egymástól jól elkülöníthető részre oszthatjuk. Egyrészt olyan humanitárius katasztrófákkal találkozunk napjaink során, melyet természeti erőforrások okoznak, másfelől pedig az emberi tevékenység békeidőszakon belüli gazdasági, vagy háborús tevékenysége során fordulhatnak elő.

Az imént említettek közül bármelyik is áll elő, a repülőtechnikai eszköz alkalmazása kitüntetett fontosságú lehet a feladatok ellátásában. Katasztrófaállapot során a pontos helyszín felderítése, avagy a területmegfigyelés történhet a levegőből, árvízvédelem során az evakuálás eszközei lehetnek légi járművek.

1. A KATASZTRÓFA FOGALMÁNAK MEGHATÁROZÁSA ÉS A KATASZTRÓFA ÁLLAPOTOK CSOPORTOSÍTÁSA

Mindenekelőtt célszerű a katasztrófa fogalmának tisztázása, mivel a szakirodalomban rendkívül sok definíció lelhető fel, amelyek különböző perspektívából közelítve próbálják meghatározni e fogalmat. Ennek próbált véget vetni a jogalkotó, mikor a katasztrófa fogalmát a katasztrófák elleni védekezés irányításáról, szervezetéről és a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről szóló 1999. évi LXXIV. törvényben az alábbiak szerint határozta meg:

A katasztrófa *„a szükséghelyzet vagy a veszélyhelyzet kihirdetésére alkalmas, illetőleg a minősített helyzetek kihirdetését el nem érő mértékű olyan állapot vagy helyzet (például természeti, biológiai eredetű, tűz okozta), amely emberek életét, egészségét, anyagi értékeit, a lakosság alapvető ellátását, a természeti környezetet, a természeti értékeket olyan módon vagy mértékben veszélyezteti, károsítja, hogy a kár megelőzése, elhárítása vagy a következmények felszámolása meghaladja az erre rendelt szervezetek előírt együttműködési rendben történő védekezési lehetőségeit és különleges intézkedések bevezetését, valamint az önkormányzatok és az állami szervek folyamatos és szigorúan összehangolt együttműködését, illetve nemzetközi segítség igénybevételét igényli.”*[1]

A katasztrófák csoportosításának a nemzetközi és a hazai tudományos kutatásokban nincs egységesen elfogadott nézetrendszere. Az általánosan használt osztályozás megkülönböztet természeti és civilizációs katasztrófát. A természeti katasztrófákkal szemben az ember kiszolgáltatott, kialakulását, bekövetkezését egyáltalán nem, vagy csak ritkán tudja megakadályozni, tehát az emberi tevékenységtől függetlenül, a természet erőinek hatására elemi csapásként fordulnak elő. Bekövetkezésük, kialakulásuk részben előre jelezhető; árvíz, belvíz, másrészt nem előre látható, például földrengés, aszály, villámcsapás. A civilizációs katasztrófák az emberi tevékenységgel függenek össze, amelyek helytelen emberi beavatkozás, mulasztás, szándékosság, vagy technikai hibák hatására következnek be, úgymint üzemzavar, közúti baleset, veszélyes anyag kiszabadulása. Ebbe a kategóriába tartozik a társadalmi katasztrófák legnagyobbika, a háború is. A természeti, de különösen a civilizációs katasztrófák közös jellemzője, hogy nagy területeket és nagy embertömegeket érinthetnek. Ezért megelőzésüket, illetve felszámolásukat az emberi élet és az anyagi javak mentését, a halaszthatatlanul szükséges helyreállító munkák végrehajtását minden országban

[1] 1999. évi LXXIV. törvény a katasztrófák elleni védekezés irányításáról, szervezetéről és a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről

az egész társadalom ügyeként kell kezelni. Könnyen belátható, hogy ezeknek a feladatoknak a megoldására pusztán a fegyveres erők és testületek, valamint a hivatásos egészségügyi intézmények önmagukban nem képesek. Katasztrófaállapot során, a legfontosabb az életmentés azonnali elkezdése, nincs idő megvárni a kárhelytől távolabb lévő katonai alakulatok beérkezését. Erre a helyszín közelében tartózkodó reguláris erők mellett elsősorban a szervezett polgári védelmi erők képesek és hivatottak.

A különböző országok katasztrófavédelmét mindenkor a jellemző sajátosságok figyelembevételével szervezik meg. A várható katasztrófák fajtája, az ország földrajzi, gazdasági és szociális helyzete, a veszélyeztetett terület laksűrűsége stb. alapvetően befolyásolja a katasztrófavédelmi szervezet kialakítását, alkalmazási feltételeinek megteremtését, a mentési feladatok végrehajtását.

Az OIPC[2] 1974. évi genfi tudományos világkonferenciáján az USA[3] Egészségügyi, Nevelésügyi és Jóléti Minisztérium előterjesztését fogadták el a katasztrófák osztályozását illetően.

Ezek szerint megkülönböztethetünk:

1. mesterséges katasztrófát, ami az ember szándékos cselekedetéből adódik - mint például a háború;
2. természeti katasztrófát, úgymint orkán, forgószél, tornádó, hóvihar, jég, eső, dara, földrengés, áradás, széllökés, szélsőséges hőmérséklet, aszály, lavina, vulkán, árhullám, erdő-, bozóttűz, villám stb.
3. szociológiai katasztrófát: ide soroljuk a különféle közlekedési, élelmiszer-, víz-, levegőszennyeződés, ipari, szabadidő, beomlás, robbanás, tömegjárvány, nukleáris berendezés, gátszakadás, hídbeomlás, áruszolgáltatás kiesése stb.

2. A REPÜLŐTECHNIKA ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI TERÜLETMEGFIGYELÉS ÉS ÁRVÍZVÉDELMI SZEMPONTOK SZERINT

A repülés rendszere és a repülőtechnikai eszközök egyedi felkészítést igényelnek katasztrófaállapot kezelésére és az ezzel összefüggő humanitárius feladatok ellátására. Légi járművek bevethetők felderítési, területmegfigyelési célokra, árvízvédelmi, tűzoltási munkálatok ellátására, evakuálási teendők elvégzésére. Az iménti felsorolás is azt támasztja alá, hogy az imént megjelölt tevékenységek nem fedik egymást, azok külön-külön értelmezhetők.

2.1 A területmegfigyelés értelmezése

A területmegfigyelés során előre meghatározott, navigációs repülési tervben megjelölt feladatot hajtanak végre, területet térképeznek fel, melynek célja eltűnt személyek, tárgyak megtalálása, azok megjelölése, lehetőség esetén a mentési munkálatok helyszíni megkezdése, például terepre leszállással. A területmegfigyelés különleges formája annak katonai célból történő alkalmazása. A NATO[4] katonai elmélet felosztása szerint a harcbiztosító légi hadműveletek egyike a területmegfigyelő és kutató-mentő tevékenység, mely során legtöbb esetben forgószárnyas, ritkábban merevszárnyú repülőeszközök kerülnek bevetésre, speciálisan képzett személyzet és felszerelés együttes alkalmazásával.

A légi kutató-mentő és megfigyelő tevékenységnek két alapvető formája ismert: az egyik a nem harci viszonyok között végzett kutatás-mentés, a másik harci körülmények között zajlik. Mindkét esetben a legfőbb dolog az ember szorult helyzetből történő mentése. A NATO gyakorlatában már volt arra példa, hogy nem minden esetben csak az élőerő kimenekítése a cél. A koszovói konfliktus idején lelőtt F–117 lopakodó repülőgép esete, amikor a személyzet mentése mellett komoly erőfeszítések történtek a találatot kapott – különleges technológiával készült repülőgép, – a „lopakodó” – kimenekítésére a gyártásakor alkalmazott technológia titkosságának megőrzése céljából. Ez az akció a harci kutatás-mentés körébe tartozik, mert hadműveleti területen hajtották végre. A nem harci viszonyok között végzett légi kutató-mentő műveletek az értelmezés szerint katonai tevékenységek, de a tengeren vagy földön veszélybe került (katonai és polgári) személyek felkutatását és kimentését foglalja magában.

2.2 Területmegfigyelés a levegőből, az alkalmazott repülőtechnika műszaki elvárásai, tevezési és kialakítási irányelvek

Mint már említettük, kutatás-mentés esetén elsősorban forgószárnyas eszközök kerülnek alkalmazásra. Ennek oka, hogy helikopterekkel alacsony magasságú föld fölötti repülés egyszerűen végrehajtható, szükség esetén a célterület fölött lebegési manőverben a felderítés pontossága tökéletesíthető.

Területmegfigyelés, felderítés végrehajtásához nem feltétlenül szükséges a forgószárnyas technika bevetése, az kiváltható repülőgépekkel is. E célra tervezett és épített merevszárnyú légi járművek esetén biztosítani kell a személyzet ergonómiai komfortérzetének növelését, a jó kiláthatóságot, korszerű fedélzeti rendszereket például kamerák, terepkövető navigációs berendezések. Mindezek mellett a legfontosabb a kedvező repülési tulajdonságok fenntartása, gondolunk itt az átesési sebesség minél alacsonyabb értékére, a kedvező stabilitási és

kormányozhatóság kérdéseire. Megítélésünk szerint Magyarország, vagy hazánkkal azonos területű és földrajzi fekvésű ország légi területmegfigyelési rendszerébe célszerűen integrálhatók alacsony tüzelőanyag fogyasztású, nagy hatótávolságú, könnyű szerkezeti felépítésű repülőgépek, melyek kialakítása során elsődleges cél az imént leírt repülési jellemzők elérése.

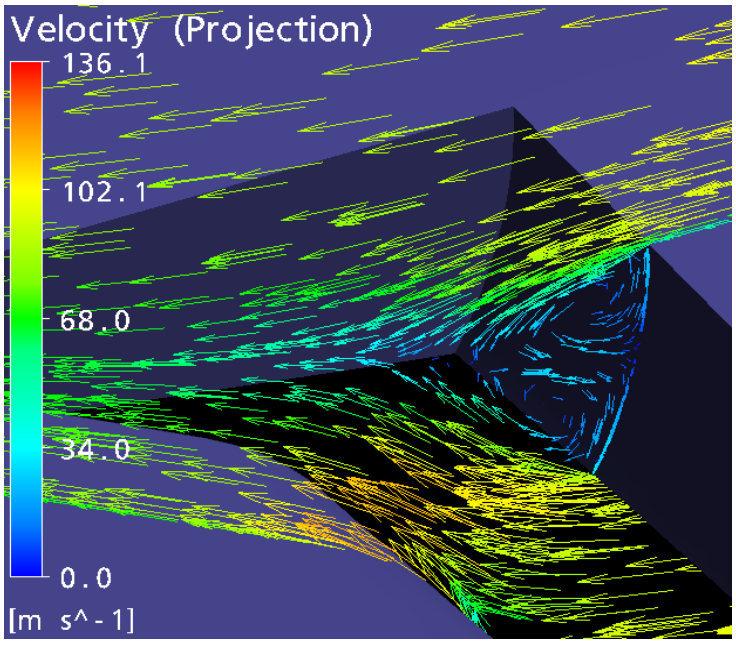
A technikai elvárások közül a legfontosabbak a minimális repülési sebesség és az átesési tulajdonságok; hogy minél alacsonyabb repülési sebességgel lehessen az adott területet körülpásztázni, feltérképezni. Az átesési sebesség kedvező kialakítására a felhajtóerő képletét értelmezve nyílik lehetőség, mely szerint:

$Y = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c_y \cdot A$, amelyből kifejezve a sebességet:

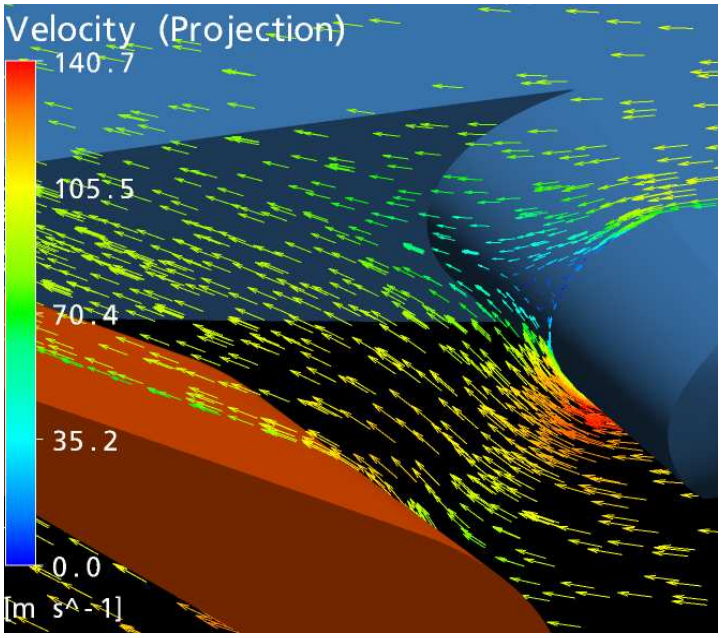
$v = \sqrt{\frac{2G}{\rho \cdot c_y \cdot A}}$, (G = Y feltétel);

az egyes tagok jelentései; ρ – sűrűség, c_y – felhajtóerő tényező, A – szárny vonatkoztatott felület, v – sebesség, G – súly.

Az összefüggésből látható, hogy egységnyi maximális felszálló tömegű repülőgép esetén a legkisebb repülésre alkalmas sebesség kedvezőbb abban az esetben, ha a felhajtóerő tényező és a szárnyfelület nagyobb. A felhajtóerő-tényező növekedését megfelelően kialakított szárnyprofillal érhetjük el, a szárnyfelület egyrészt a húrhosszal és a fesztávval szabályozható. Minden határon túl a szárny fesztávja azonban nem növelhető, mert alacsony sebességen stabilitási és kormányozhatósági problémák jelentkezhetnek. Kedvezően hat az alacsony repülési sebesség tartományában az is, ha a szárnynak V-be állítási szöge van. Ezek azok a legfontosabb kérdések, amelyeket az aerodinamikai kialakítás során figyelembe kell venni. Már a tervezés szakaszában optimalizálhatók az iménti szempontok szerint a felületek, kormánylapok aerodinamikai viselkedései. Szimulációs szoftverek segítségével jó közelítést nyerhetünk gyártás előtt a tervezett prototípus légerőtani mutató számairól. Példaként említenénk az irányfelületek és kormánylapok közötti csatornarés kialakításának optimalizálását az ellenállás csökkentése céljából, erre utalnak a következő ábrák. Az 1-es számú ábra egy homorú kilépőél körüli áramvektorokat mutat be, még a 2-es számú ábra egy legömbölyített áramvonalas kilépőél körüli áramlást szemlélteti. Látható, hogy az áramvonalazott geometria körül nincsenek visszaforduló örvények, nem alakul ki visszaáramlás, idegen szóval a „back-streaming” jelensége.



1-es számú ábra – Homorú kilépőél körüli áramláskor
jelentkező back-streaming jelenség szimulációs analízissel elemezve



2-es számú ábra – Áramvonalas kilépőél körüli áramlás

Összefoglalva tehát, aerodinamikai szempontok szerint a területmegfigyelés egyik alapja az alacsony repülési sebesség tartomány, kedvező biztosítása pedig a következők szerint alakítható:

- Az átesés kiindulópontja az a szárnymetszet, ahol a felhajtóerő először éri el a lokális maximum értékét, hogy amennyire csak lehetséges, közel legyen a repülőgép szimmetriasíkjához.
- A csűrőlapokat célszerűen úgy kell kialakítani, hogy az átesés közeli tartományokban is

hatásos maradjon. Ezért célszerű az éles sarkokat, átmeneteket elkerülni, hogy ne indulhasson meg örvénylés. (A 2-es számú ábrához megjegyeznénk, hogy a túlzott áramvonalas görbületi sugár egy bizonyos érték felett önmaga hozhat létre nagy sebességen rotációt és indíthatja el a kormánylap remegését. A kedvező alakot kísérleti repülésekkel lehet megállapítani.)

- A profilok íveltségének növelése a tőtől a törővég felé haladva negatív mértani elcsavarást alkalmazva.
- Orrsegédszárny és ívelőlap alkalmazása a helyi felhajtóerő tényező növelése céljából.
- V-állás alkalmazása.

2.3 Árvízvédelmi feladatok ellátása, repülőtechnikai eszközök

Árvízvédelmi feladatok ellátására a legmegfelelőbb és legcélszerűbb eszközök a helikopterek. Árvíz idején alapvetően számolnunk kell szárazföldön megközelíthetetlen területtel, vagy a külvilágtól elzárt településekkel, ahol a terepre leszállás feltételei korlátozottak.

Magyarországon az elmúlt évek során MI-8/17 helikopterek vettek részt árvízvédelmi munkálatok elvégzésében és az ezzel kapcsolatos katasztrófavédelmi feladatok ellátásában. Több esetben hajtottak végre felderítései, helyzetfelmérési és pozíció megjelölési feladatokat, ezen kívül a nehezen megközelíthető terepekre élelmet szállítottak.

3-as számú ábra – Árvízvédelmi feladat ellátása MI-17 helikopterrel a Magyar Honvédségnél

Alkalmazásuk kiterjedhet az említetteken kívül homokzsákok szállítására külső függesztők segítségével vagy a fedélzeten elhelyezésre került csörlőberendezés használatával evakuálási vagy életmentési feladatok elvégzésére is.

3. VEGYI ÉS SUGÁRVÉDELMI FELADATOK KAPCSOLATA A REPÜLÉSSEL

A sugárvédelem feladata több részterületre osztható, globális megfogalmazása összetett feladatköre következtében csak tágabb értelemben lehetséges. A sugárvédelem feladatkörét egymástól alapvetően három elkülöníthető részre célszerű felosztani.

A sugárvédelem feladatai:

Egyfelől a természetes és mesterséges (valamely emberi tevékenységhez kötött) ionizáló, radioaktív, biológiai vagy bármely más, az élő szervezetre kedvezőtlen hatású sugárforrások felkutatása, megjelölése.

Másfelől a sugárzó anyagok élő szervezetre kifejtendő kedvezőtlen hatásainak megismerése, azok elleni védekezésre történő felkészülés. Harmadsorban pedig a sugárzó anyagokkal békés célú gazdasági tevékenység lehetőségének megteremtése, a sugár-szennyezés olyan szintű optimális szinten tartása, mely nem érinti (vagy csak minimálisan) kedvezőtlen hatással a környezeti értékeket és az élővilágot.

3.1 A repülésbiztonság sugárvédelmi szempontjai

Sugárszennyezés a levegőből kétféle képen jöhet létre, egyszer hadműveletek során, másodsorban pedig békeidőszakban. Légi atomrobbantás következménye, hogy a levegőben a láncreakció következményeként világos (fehér) színű, úgynevezett radioaktív felhő képződik, ami a szél hatására felhígul, majd idővel kiterjed és a radioaktív részecskék a széliránynak megfelelően lassan kihullnak a föld felszínére. Békeidőszakban például atomfegyvert szállító repülőgép esetleges balesete esetén kell számolni sugárfertőzéssel, ugyanis a lezuhanást követően az atomtöltet nem robban fel, annak összetett biztonsági rendszere következtében, hanem a robbanófej a földön szétszóródik, és annak anyaga okoz sugárszennyezést. Szintén sugárszennyezéssel kell számolni egy esetleges műhold becsapódását követően, vagy repülőgépek jégmentesítő és hajtómű vezérlő rendszereiben is találunk sugárzó forrásokat, esetleges baleset vagy kényszerleszállás következtében fellépő kedvezőtlen hatások miatt a területek átvizsgálása fokozott figyelemmel szakértők bevonásával történhet. Esetleges szennyezési forrás lehet atomreaktor sérülése, felrobbanása miatt kialakuló radioaktív felhő, a szél képes több országot érintve mozgatni azt, még szép lassan feloszlik.

3.2 A repülésbiztonság sugárvédelmi feladatai

Repülésbiztonsági szempontokat figyelembe véve különös tekintettel kell lenni a veszélyes árukat szállító (esetleg vegyi vagy sugárzó) légi járművekre. Erre az ICAO[5] (International Civil Aviation Organization, Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet) egy külön ajánlást dolgozott ki. Ezt a Chicagói Egyezményben rögzítették, és mára már több mint 120 légitársaság csatlakozott ehhez a tömörüléshez. Szintén repülésbiztonsági szempontokból kell elemezni olyan intézmények, gyártóegységek, üzemek körzetét, amelyekben veszélyes, vegyi és/vagy sugárzó anyagokat állítanak elő. Ezek légterét, közvetlen körzetét mind függőleges, mind pedig oldalirányban el kell különíteni, és megkülönböztetett légtérnek tekinteni. Magyarországon a Paksi Atomerőmű és a Csillebérci Atomreaktor körzete tiltott légtérként (prohibited sector) került megjelölésre.

A repülésbiztonság kérdéskörébe tartozik, hogy mi a teendő abban az esetben, ha sugárveszélyes terület fölött, vagy annak közeli körzetében kell végrehajtani a repülési feladatot. Ez egy rendkívül összetett kérdés, melynek két nagy csoportját különböztetjük meg, egyrészről, hogy civil vagy katonai rendeltetésű légi járművet érint-e a veszélyeztetett terület; másik lehetőség a csoportosításra pedig, hogy hadműveleti vagy valamilyen balesetből származik a szennyezés. Katonai rendeltetés esetén az ilyen jellegű hadműveleti vagy békeidőbeli humanitárius repüléseket végrehajtó repülőgép és személyzet speciális felkészítésben részesül.

Polgári repülőgép esetében szennyezett terület fölött vagy annak közelében a repülést végrehajtani szigorúan tilos, ha nincs mód az elkerülésre, akkor figyelembe kell venni, hogy a dózisteljesítmény a repülési magasságtól és kabinnyomástól függ. A dózisteljesítmény a repülési magassággal kb. 2000…3500 méter magasságig csökken, majd onnan exponenciálisan nő.

3.3 A légi vegyi- és sugárfelderítés

A légi, vegyi- sugárfelderítés fogalma alatt a repülőeszközökkel végrehajtandó, vagy végrehajtott vegyi-, sugárfelderítő tevékenységet értjük. A légi-, vegyi- sugárfelderítés a szennyezett területek felderítésének legmozgékonyabb és igen fontos módja. A felderítés gyors végrehajtása, a sugárzás intenzitásához való kötetlensége lehetővé teszi a magas sugárszintű területek, valamint olyan körletek felderítését, amelyeket földi sugárfelderítéssel nehezen, vagy veszteségekkel lehet csak végrehajtani.

A légi vegyi felderítés a vegyi szennyezés tényének és a mérgező harcanyagfelhő haladási irányának megállapítását, a légi-, sugárfelderítés a terepen levő sugárázás szintjének, a szennyezett terület nagyságának meghatározását jelenti. A légi vegyi- sugárfelderítésre alkalmasak mindazon

repülőeszközök, melyeknek repülési sebessége a meglevő méréstechnikai eszközök műszaki lehetőségeivel arányban van. Ezzel biztosítják a sugárszintek repülés közbeni mérhetőségét, meghatározását, a mérgező harcanyag kimutatását a levegőből. Jelenleg a légi vegyi- sugárfelderítés fő eszköze: az ember által vezetett repülőgép és helikopter.

Alapvető előnyük, hogy lehetőségük van az adott területek, objektumok felkutatására, a repülés folyamán kialakult harc- és időjárási helyzet, valamint a feladat jellegének megfelelő manőverezésre, a megszerzett, mért adatok gyors értékelésére, vagy azonnali továbbítására a levegőben.

Hátrányuk viszont a meteorológiai viszonyok befolyása, a repülőeszközök korlátozott repülő-harcászati lehetőségei, valamint az alkalmazásukkal járó kockázat, mivel számolni kell a gép személyzetének és a repülőeszköz elvesztésének lehetőségével.

A pilóta nélküli repülőgép előnye, hogy leküzdése esetén nincs személyi veszteség, a repülőgép kihasználási lehetősége növelhető – nincs fülke a gépszemélyzet számára – egyszerűbb a telepítése, és a földön kevésbé sebezhető.

3.3.1 Fő feladatai:

- Olyan magas sugárszintű területek felderítése, melyek a földi sugárfelderítés eszközeivel nem hajthatók végre,
- Atomrobbantási körzetek, a nukleáris balesetek körleteinek, a radioaktív felhőnyomok irányának és szélességének felderítése,
- A sugárszennyezett zónák határainak felderítése,
- A csapatok által megszállt, illetve meg nem szállt körletek, út- és menetvonalak, átkelőhelyek, átrakási körletek felderítése,
- Repülőterek, fel- és leszállóhelyek felderítése,
- A mérgező harcanyagok elsődleges és másodlagos felhői haladási irányának, terjedési mélységének megállapítása,
- Légideszantok kidobási, kirakási körleteinek, működési irányainak vegyi-, sugárfelderítése,
- Rövid leszállással mintavétel a fontosabb objektumok vegyi-, sugárzási viszonyainak tisztázása céljából,
- Atomrobbanás, vagy gyújtóanyagok alkalmazása következtében keletkezett területtüzek, tűzviharok méreteinek, terjedési irányainak megállapítása,
- Rombolások, vízbetörések méreteinek, kiterjedésének felderítése.

4. LÉGI KUTATÁS-MENTÉS A KATASZTRÓFAVÉDELEM RENDSZERÉBEN

A légi kutató-mentő szolgálatok feladata, hogy a bajba került kényszerleszállást végrehajtott vagy balesetet szenvedett légi járműveket felderítsék és helyszíni támogatást, mentést nyújtsanak számukra. Tevékenységüket egy magasan képzett operatív támogató csoporttal végzik el, mely különlegesen felkészített repülőgép- vagy helikoptervezetőkből, műszakiakból és ápoló-orvos szakemberekből tevődik össze. A kutatás-mentést készültségi szolgálatban kell megoldani, napi 24 órában, ha szükséges, akkor különleges időjárási helyzetek között is.

A repülés kezdetekor a légi kutatás egyetlen eszköze a vizuális felderítés volt, sokszor teljesen céltalannak tűnhetett az egész, hiszen radartechnika híján az előzetes útvonaltervnek megfelelő repülési pályát kellett alacsony magasságból lekövetni és az esetlegesen eltűnt légi járművet személyzetükkel megkeresni. Ezen időszakban a felderítést repülőgépek végezték, tapasztalatok szerint eredménytelenül. A repülők csak keveset tudtak tenni a bajba jutottak érdekében, mert mielőtt azok megtalálták volna, a földön, a vízen már megelőzték őket.

Későbbiekben a második világháborút követően a navigációs berendezések fejlődésének eredménye lett a légi járművek fedélzetén alkalmazásra került ELT[6], magyar megfelelője röviden csak vészjeladó. A kétirányú rádiókapcsolat, a GPS[7] és követő rendszerek napjainkban tökéletes pozíciómeghatározást tesznek lehetővé, melyek a légi felderítésben nélkülözhetetlen eszközök.

4.1 AZ ELT GYAKORLATI ALKALMAZÁSA ÉS SZEREPE

Az ELT elengedhetetlen eszköz a kutatás-mentés rendszerében, ebből eredően repülésbiztonsági rendezőelveket tekintve a legtöbb repülőgéptervezői és építési előírás javasolja, bizonyos ülésszám fölött pedig kötelezővé teszi ennek az eszköznek az alkalmazását. Az ELT működése az úgynevezett Cospas-Sarsat rendszer integrációján alapul.
A repülőgépek fedélzetén található ELT narancssárga színre festett dobozban kerül elhelyezésre, ami víz- és ütésálló, befoglaló mérete körülbelül 30x30 cm, tömege 2-től maximum 5 kg-ig terjed. Az adó digitális vészjeleket bocsát ki a 406 MHz frekvencián és közvetíti azokat a nemzetközileg elfogadott 121,5 MHz vészhelyzeti csatornán is. Az ELT rendszerét a fedélzeti GPS és S-modú transzponderrel is lehetséges összecsatlakoztatni, így lehetőség van nagy pontosságú GPS koordináták vételére is illetve a szerencsétlenül járt repülőgép 24-bites S-mód transzponder egyedi kód azonosítására.

Az ELT aktiválása kétféleképpen történhet, egyfelől manuálisan, másfelől pedig automatikusan. A rendszer abban az esetben lép automatikusan működésbe, ha egy adott nagyságú gravitációs gyorsulásból eredő túlterhelés lép fel – ilyen állapot például becsapódáskor vagy ütközéskor jöhet létre. A 4-es számú ábra a COSPAS-SARSAT rendszer felépítését mutatja be vázlatosan. Az ábrán az 1-es számmal jelölt hajó, repülőgép fedélzetén, vagy akár az ember kezében aktivált ELT vészjeleket kibocsátva műholdakkal kommunikál (2), majd a szárazföldre telepített központi telepeken keresztül (3,4) juttatja el az adott körzeti mentő egységhez (5) a bajba került egység pontos pozícióját.
Az 5-ös számú ábra egy ELT készülék fotóját mutatja.

4. ábra – A COSPAS-SARSAT rendszer működési alapja

5. ábra – Fedélzeti ELT készülék

4.2 A kutatás és mentés szervezése

A kutatás, mentés rendszerét a Riasztó Légiforgalmi Szolgálat látja el, mely a Mentési Koordináló Egységgel közösen végzi tevékenységét. A repülésirányításban másodlagos fedélzeti válasz jeladó (transponder) segítségével követik nyomon a légi járművek útvonalát, felügyelik térbeli mozgásukat és ez alapján végzik az elkülönítéseket. A transponder három üzemmódban képes jelet közvetíteni, ezek a következők:

- A-mód (Alfa állapot), mikor egy azonosító kódot juttat el, ami négy számjegyből áll, az egyes karakter helyeken 0-tól 7-ig állhat szám, például 7312
- C-mód (Charlie állapot), mikor az azonosító kód mellet a repülési magasságot is elküldi a földre,
- S-mód (Sierra állapot) mely az adott légi jármű egyedi, számára előre kijelölt kódját is küldi.

Abban az esetben, ha a légi jármű fedélzetéről semmilyen azonosító jel vagy helyzetjelentés nem érkezik, akkor kényszerhelyzet állapotát hirdeti ki az irányítás, melynek három szintjét különböztetik meg:

1-es szint:

INCERFA, vagyis a bizonytalanság állapota, ezt abban ez esetben rendelik el, amikor a légi jármű fedélzetéről 30 percen belül semmiféle közlemény nem érkezett azon időponttól számítva, hogy rádióösszeköttetést kellett volna neki létesítenie.

2-es szint:

ALERFA, vagyis a riasztás állapota, amikor a légi jármű fedélzetéről a bizonytalanság állapotát követően sem érkezett semmiféle értesítés és a további összeköttetési kísérletek is sikertelenek voltak, vagy amikor a légi járműnek engedélyezték a leszállást és a számított leszállási időhöz képest 5 percen belül nem szállt le és rádióösszeköttetést sem sikerült vele felvenni.

3-as szint:

DETRESFA, a veszély állapota, amikor a riasztás állapotát követően az összeköttetést továbbra sem sikerült a légi járművel felvenni és annak radar kapcsolata sincs vagy nem azonosítható akkor a legi járművet vészhelyzetben levőnek kell tekinteni és a kutató, mentő szolgálatot riasztani kell.

Alkalmazott rövidítések és idegenszavak jelentései:

[2] OIPC:
[3] USA: United States of America, Amerikai Egyesült Államok
[4] NATO:
[5] ICAO: International Civil Aviation Organization, Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet
[6] ELT: Emergency Locator Transmitter, fedélzeti vészjeladó
[7] GPS: Global Positioning System, globális helymeghatározó rendszer

Felhasznált irodalom:

[1] Intercept Controller's NATO Operationa /NATO hadműveletei ismeretek kézikönyve. (ZMNE. Szolnok 2000.)
[2] IVÁN Dezső: A magyar katonai repülés története 1945–1956. (Honvédelmi Minisztérium Oktatási és Tudományszervező Főosztály, Budapest, 1999.)
[3] Hadtudományi Lexikon A–L. (Magyar Hadtudományi Társaság, Budapest, 1995.)
[4] Katonai Kislexikon. (Honvéd Vezérkar Tudományszervező Osztály Budapest, 2000. 74. oldal.)
[5] Nagy János – Orosz Zoltán Mi-8/17 szállítóhelikopterek alkalmazása a Magyar Légierőben
[6] Corvus Aircraft Kft belső dokumentációs rendszer

Abstract:

This article focuses on aircrafts, which can be used in catastrophe defence systems for example area coverage, flood control, chemical and radiation protection. The authors define state of catastrophe and the connection between the catastrophe protection and civil, military aviation systems. They analyze the technical parameters of aircrafts and helicopters, the requirements, which must be certified in case these are used in catastrophe protection, for instance excellent stability behaviour of the aircraft in low airspeed range and low, stall speed. Last, they write some information about chemical and radiation protection and rescue system of the aviation.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Farkas Imre

A MAGYAR HONVÉDSÉG VEZETÉSFELFOGÁSA VÁLTOZÁSAINAK LEHETSÉGES IRÁNYAI ÉS BEÉPÜLÉSE A KIKÉPZÉS RENDSZERÉBE

Nem elég elindulni,
de mást is hívni kell!
S csak az hívjon magával,
aki vezetni mer!

/Váci Mihály/

BEVEZETÉS

A Magyar Honvédség az 1990-es évektől nagy változáson ment keresztül. Egy tömeghadseregből professzionalista önkéntes haderővé alakult. Új szervezeti struktúrák jelentek meg, amelyek mindenkor megpróbáltak megfelelni a kormányzati szinten a hadseregről kialakított elképzeléseknek. A haderőreformok eredményeként erősen csökkent a hadsereg létszáma, átalakult a technikai eszközparkja és az elképzelések szerint létszámában kisebb, de ütőképesebb, a kor követelményeinek és kihívásainak megfelelni képes, finanszírozhatóbb hadsereg létrehozása volt a cél.

A NATO csatlakozás újabb mérföldkő volt a Magyar Honvédség életében, újabb kihívásokkal, követelményekkel, ismeretekkel. Egyre jobban előtérbe került a missziós szerepvállalás szükségessége, egyre többen voltak, vannak, akik a missziós feladatokat tekintik a Magyar Honvédség fő feladatának, és ennek rendelik alá a fejlesztéseket, a kiképzést és a szükséges létszám meghatározásánál is ezt tekintik a számvetések alapjának. Meggyőződésem szerint tévesen.

Láthatjuk, hogy az utóbbi húsz évben nagy utat tett meg a Magyar Honvédség, de a fentebb említett változásoknál nem hiányzik-e valami a felsorolásból? Beszéltünk emberekről, szervezetekről, eszközökről, doktrínákról, de mégis, hogy lesz ebből működő hadsereg? Mi az ami összekapcsolja az egyes elemeket, meghatározza a belső viszonyokat és amitől mozgásba lendül ez az egész hatalmas gépezet. Az amerikaiak azt mondják ez a Military Leadership, a német pedig azt, hogy ez az Auftragstaktik. Mi pedig sok mindent használunk: küldetésorientált vezetés, feladatorientált vezetés, emberközpontú vezetés. Azt gondolom a fogalom önmagában mindegy, a lényeg a belső tartalma, a parancsnokok, katonák gondolkodásmódja, az azt befolyásoló pozitív, negatív hatások és ezen elvek érvényesülése a mindennapokban. Persze felmerülhet a kérdés, hogy ez az átalakulás is végbement-e a Magyar Honvédségnél. Nagyon sok jó tanulmányt olvashatunk ezen a területen. Gondoljunk csak

Benkő Tibor altábornagy, Dr. Pintér István ezredes, Lippai Péter ezredes vagy Dr. Czuprák Ottó alezredes írásaira. Ugyanakkor próbáltunk a helyzeten felülről jövő nagyon jó kezdeményezésekkel is javítani –ezek a projektek elsősorban Havril András vezérezredeshez köthetőek - például a „Magabiztos parancsnok", a „Párbeszéd", vagy a „Hatékony törzs" konferenciák.

És mégsem tudjuk, hogy jó úton járunk-e? Van-e egyáltalán egyetlen üdvözítő megoldás? Abba az irányba változik-e a hadsereg gondolkodása, amely szükséges lenne? Miért érezhetjük úgy, hogy késésben vagyunk? Mit kellene tennünk, hogy az eddigieknél gyorsabban a helyes irányba mozduljunk el? Mik hátráltatják az elvek gyakorlati érvényesülését? Lehet-e az új elvek alkalmazását „felülről" megparancsolni?

Többek között ezekre a kérdésekre keresem a választ a tanulmányomban, nem elsősorban tudományos alapokra fektetve a fő hangsúlyt, hanem sokkal inkább azokra a tapasztalatokra, melyekre különböző parancsnoki beosztásaimban tettem szert. Az elemzések során bemutatom azokat az elveket, amelyek meghatározták, vagy jelenleg is meghatározzák gondolkodásunkat, a válaszoknál pedig a mindennapjainkból vett példákkal próbálom könnyíteni a megértést. Néha visszanyúlok Novák Gábor alezredes szerzőtársammal 1997-1999 között írt „Gondolatok a parancsnoki és törzsmunka jövőjéről"[1] és az „Új gondolatok"[2] című TDK dolgozatunkhoz, amelyben többek között azt fogalmaztuk meg, hogy az új elvek alkalmazásához a Magyar Honvédségben még legalább 15 év szükséges. Foglalkoztat a kérdés, hogy elég lesz-e ez az idő!

KÜLÖNBÖZŐ HADSEREGEK, KÜLÖNBÖZŐ ELVEK

A vezetésről és a katonák gondolkodásmódjáról általában

Elterjedt nézet, hogy a katonai vezetés és gondolkodás egy sajátos, a polgári életben folyó tevékenységgel össze nem hasonlítható. De mit is értünk vezetés, vezetési stílus, katonai vezetés és a katonai gondolkodásmód alatt?

A vezetés fogalmának sok értelmezése létezik, de azt hiszem jó az a megközelítés, amely szerint a vezetés olyan tevékenység, amely az erőforrások hatékony és eredményes felhasználására irányul bizonyos célok elérése érdekében.

Klein Sándor szerint a vezetés lényege, hogy elérjük a feladat megoldását (egy kitűzött célt) más emberek segítségével. A vezető az az ember, aki képes elérni, hogy a csoport tagjai képességeik, tehetségük, energiáik felhasználásával elkötelezetten együttműködjenek vele egy közös cél elérése érdekében.[3] A vezetés lényegének megértéséhez Dogbertet hívja segítségül: *„A vezetés talán a legjobban az alaszkai szánhúzó kutyák példája alapján érthető meg. Rengeteg kutyára van szükség, hogy egy embert elhúzzanak. De ha a kutyák megfenyegetnék az embert, hogy megharapják, a muksó*

[1] Farkas Imre – Novák Gábor: Gondolatok a parancsnoki és törzsmunka jövőjéről, Budapest, ZMNE, 1997
[2] Farkas Imre – Novák Gábor: Új gondolatok, Budapest, ZMNE, 1998
[3] Klein Sándor: Vezetés- és szervezetpszichológia, Budapest, Edge 2000 Kiadó, 2007

egyedül el tudna húzni egy rakat kényelmesen üldögélő kutyát ugyanezzel a szánnal. A vezetés valami ilyesmi, csak a szán, meg a kutya, meg a fagyott tundra nélkül.[4]

A katonáknál ez a vezető a parancsnok. Sokáig folyt a vita arról, hogy parancsnok vagy vezető. Szerencsére azok a nézetek kerültek előtérbe, amelyek szerint parancsnok és vezető. Újabban újra éledtek ezek a viták egy kicsit más megfogalmazásban, amely szerint parancsnok, vagy menedzser. Ma már ez a kérdés is eldőlni látszik. Benkő Tibor altábornagy így fogalmaz*:*

"A napjainkban megreformálásra kerülő szolgálati kultúránkban ismételten megjelenő és követendő érték, a korszerű vezető kulcsfontosságú felelőssége, a komplex gondolkodásmód, a hatékony szervezési képesség. A parancsnokok, mint katonai vezetők, beosztásba kerülésüket követően rendszerint kialakítják elképzeléseiket a szervezet működésére, az alkalmazott munkamódszerre, és az elvárásokra vonatkozóan, ezzel közvetlenül megfogalmazzák szándékukat az általuk vezetett szervezet és a szervezetben szolgálók szervezeti és szolgálati kultúráját illetően. A haderőreformot követő évek, a folyamatos, globális jelleget öltő változások, problémamegoldó gondolkodásmódot követeltek és követelnek meg napjainkban is a parancsnokoktól. ... a katonai vezetés két meghatározó környezetben is funkcionál. Az egyik a külső, amely társadalmi, sőt sok esetben kül- és gazdaságpolitikai jellegű, (tartományi újjáépítés és békefenntartás) a másik a folyamatosan változó és átalakuló Magyar Honvédség, mint belső környezet. Így a parancsnokoknak – és nem csak a felső katonai vezetőknek – számos más területen és témakörben (gazdasági- és gazdálkodási, pénzügyi, bel-és külpolitikai) tájékozottnak kell lennie. Mindez egy teljesen új követelményrendszert támaszt az állománnyal szemben, melynek alapját természetesen csak egy újszerű szolgálati kultúrával lehet megteremteni…. Ebben a folyamatban a parancsnokok szerepe kiemelkedően fontos, hiszen a problémák felismerésével, annak kezelésével, gondolkodásmódjukkal, alkalmazkodó, illetve kapcsolattartási képességükkel a rendszer kommunikátor szerepét töltik be. Ennek egyik kiemelkedően fontos hozománya az újszerű vezetési tulajdonság, az úgynevezett válságmenedzsment."[5]

A hadseregek belső viszonyai szempontjából a másik nagyon fontos összetevő a gondolkodásmód. A katonák gondolkodásmódja szintén sajátságos elemeket tartalmaz, hiszen egyrészt, mint a társadalom része a katona is magán viseli a társadalomban uralkodó nézeteket, ugyanakkor, mint a hadsereg egy eleme magában hordozza a hadsereg által meghatározott szabályok szerinti nézeteket, értékeket, magatartási formákat. Huntington a katonai gondolkodásmódot így fogalmazza meg: „*Ha az emberek hosszú időn át azonosan cselekednek, általában jellegzetes és tartós gondolkodási szokásokat fejlesztenek ki. A világgal való, csakis rájuk jellemző viszonyuk révén, csakis rájuk jellemző módon tekintenek a világra, ami oda vezet, hogy ésszerű magyarázatot találnak viselkedésükre és szerepükre. Ez kiváltképp akkor igaz, amikor a szerep professzionális jellegű. A hivatást szűkszavúbban meghatározottan, intenzívebben és kizárólagosabban művelik, és egyértelműbben elszigeteltek más emberi tevékenységektől, mint a legtöbb foglalkozás esetében. A hivatási funkció folyamatos, objektív*

[4] Scott Adams: Dogbert szigorúan titkos vezetői kézikönyve, SHL Hungary Kft. 1999
[5] Benkő Tibor altábornagy: Szolgálati kultúra a haderőreform tükrében, Seregszemle, VII.évfolyam 2.szám 2009

betöltése nyomán állandósult hivatásos Weltanschauung, vagy másképpen professzionális „gondolkodásmód" alakul ki. Ebben az értelemben a katonai gondolkodásmód azokból az értékekből, magatartásformákból és perspektívákból áll, amelyek a professzionális katonai funkció teljesítésének a velejárói, s amelyek e funkció természetéből vezethetők le."[6]

Természetesen ennek a gondolkodásnak változnia kell a társadalmi-gazdasági,- biztonsági változásoknak, az estlegesen megjelenő új követelményeknek, lehetőségeknek, esetlegesen a korlátozásoknak megfelelően.

Az Auftragstaktik

Magyarország, a magyar haderő mindig is magán hordozta a német-porosz nézeteket elveket. Ezen nem is lehet csodálkozni, hiszen tisztjeink közül sokan már a két világháború között is –és ma is- Németországban tanultak és elsősorban a vezérkarnál nagyon éreztette hatását a német befolyás. Azt is láthatjuk, hogy a későbbi szovjet behatás sem volt mentes ezektől az elvektől, hiszen vezetési elveik a porosz elveken alapultak, igaz annak néhol sajátos alkalmazásával. Még nagyobb jelentőséget ad ezen elv tanulmányozásának az a tény, hogy a II. Világháború után az USA, és a NATO is ez alapján alkotta meg saját elveit.

Már magát a kifejezést sem egyszerű magyarra fordítani ezért nagyon sokáig az eredeti német kifejezést használtuk, azonban már elterjedt a küldetésorientált és a feladatorientált vezetés kifejezés is. A továbbiakban a téma egyik legszakavatottabb ismerőjével, Lippai ezredessel egyetértve a küldetésorientált vezetés látszik a legmegfelelőbbnek, de a dolgozatomban én az eredeti kifejezést használom.

Kialakulása, alapjai

1806-ban Napoleon Auerstedtnél és Jenanál órákon belül kétszer is megveri a legyőzhetetlennek látszó porosz hadsereget. Ez a megsemmisítő vereség arra kényszerítette őket, hogy államügyeket átgondolták, új alapokra helyezték, amelyek mint porosz reformok a legkülönbözőbb területeken más útra tértek, és sok tekintetben más államok számára is új utat mutattak. Az új úthoz tartoztak a katonai ügyek reformjai is. Sok esetben ezek a változtatások felismerhetően a francia forradalmi hadsereg és a napóleoni vezetési művészeten alapultak. A német katonai vezetők ezen alapokat továbbfejlesztve illesztették hozzá az ország sajátosságaihoz. Mindenképpen ki kell emelnem az illesztették szót. Nem vizsgálat nélkül, saját viszonyaiknak nem megfelelően átvették, bevezették, hanem hozzá illesztették ezen elveket. A reformkezdeményezések életképesnek bizonyultak olyannyira, hogy rendkívüli belső erőt adtak a hadseregnek.

Nem lehet egyértelműen meghatározni a későbbiekben oly sikeres „Auftragstaktiknak" születési dátumát.

[6] Samuel P.Huntington: A katona és az állam, Budapest, Zrínyi Kiadó-Atlanti Kutató és Kiadó, 1994

A vezető amerikai hadtörténészek egyike T. N Dupuy[7] ezredes állapította meg, hogy a porosz-német hadseregek 1807 és 1945 között állandóan minőségi fölényben voltak ellenfeleikkel szemben, amely többek között a vezetési elveik eredménye volt.

Martin von Creveld[8] izrae1i hadtörténész későbbi kutatásai is alátámasztották ezeket a következtetéseket. A szakemberek által nemsokára megkezdődött - elsősorban az USA-ban - a később „Auftragstaktiknak" nevezett vezetési elv meghonosításának szorgalmazása.

De mik is lehettek ezen fölény okai? Az ok nyilvánvalóan nem a nagyobb bátorságban rejlik. Sok nemzet hadseregei bátran, nagy szakértelemmel küzdöttek a harcmezőn a II. Világháború alatt. Valószínűleg nem volt velük született képességbeli fölényük

Úgy tűnik, hogy minden nemzet csapatai bátran harcoltak, amennyiben néhány alapvető feltétel teljesült:

- Meggyőző háborús ok;
- A csapatok belső összetartása;
- Tisztek, tiszthelyettesek, akikben a csapat bízik;
- Megfelelő fegyverzet;
- Magas fokú kiképzettség.

A valódi ok felderítéséhez az 1941-ben Krétáért vívott csatát hívjuk segítségül.[9] A németek légi fölényben voltak, de a védő brit- görög- ausztrál- és új-zélandi csapatoknak több, nagyon fontos ütőkártyájuk volt. Ebben az időben az ejtőernyős- és légi szállítású csapatok alig több felszerelést, mint kézifegyvereiket tudták magukkal vinni. Az első támadás alkalmával legjobb esetben kiegészült e fegyverzet néhány könnyű gránátvetővel és kevés híradóeszközzel. Csak egy repü1őtér bevétele után tudtak néhány könnyű löveget is szállítani, mialatt a harckocsik, a gyalogsági harcjárművek és a tehergépkocsik - melyekkel a védők rendelkeztek - bevetése továbbra is lehetetlen maradt és a legnagyobb hátrány, hogy a védők ismerték a német rejtjelkulcsokat, ezáltal ismerték a német támadási tervet is, a legapróbb részletekig lemenőleg.

A támadó csapatok pontosan azokba az állásokba ugrottak ejtőernyőikkel, vagy értek földet vitorlázóikkal, ahol a védők fölényben voltak, mert pontosan tudták, mikor és hol fognak a németek érkezni. Ennek ellenére a támadó birtokba vette a stratégiai jelentőséggel bíró szigetet, és olyan veszteséget okozott az ellenségnek, amely többszörösen felülmúlta a sajátját. A jobb harceljárások nem lehettek a győzelem egyedüli okai, mert a **kitáblázott feltételek közötti tervek nemsokára a kis alegységek túlélésért vívott kétségbeesett harcára korlátozódtak.** A támadó egyáltalán nem tudta alegységeit a terveknek megfelelően alkalmazni, így rendelkezésre kellett állnia a harceljárásokon kívül még egy összetevőnek. Elég erősek voltak ahhoz, hogy kiegyenlítsék azokat a hátrányokat, amelyekkel meg kellett küzdeniük.

---

[7] Dupuy, T. N.: A genius for war - The German army and general staft 1807-1945 Fairfax, Virginia, 1977.
[8] von Creveld, Martin: Fighting power - German and US army performance 1939-1945 Westport 1982.
[9] 42000 védő (angol, görög, ausztrál, új-zélandi).Az első nap mintegy 5500 német támadó, amely a hadművelet végére kb. 18000 főre emelkedett.

A harcképességi fölény a második összetevőjének keresésénél segítségül hívhatjuk az egykori angol főszemlélőt, Lord Carvelt[10] aki, azt írta, hogy sokszor az angol alegységek azért semmisültek meg, mert nem mozdultak, parancsra, vagy a szándékuk megvalósulására várva. **Ez arra utal, hogy egy hadsereg akkor tud hatásosan harcolni, ha a katonák bátorsága kiegészül a helyes harceljárások, a kezdeményezés, a vállalkozó szellem - azaz a tisztek, tiszthelyettesek és a legénységi állomány képességei - által az önálló, és szükség esetén a meghatározott, idejétmúlt feladatokkal szembeni cselekvésekkel.**

Az önálló cselekvés jelentősége közvetlen a háború egyik ismérvéből adódik, amely szerint a háború a bizonytalanság, a fikciók birodalma, mely gyakran káoszhoz vezet, és az is fog maradni, mert nem gépek vívják, hanem azok a katonák, akik a gépeket kezelik. Amennyiben a váratlan, vagy gyakran nem várható helyzet megjelenik, azonnal elvész, aki új parancsra vár, és azonnal nyer, aki gyorsabban reagál, mint ellenfele. Hasonlatos ez ahhoz a sakkjátszmához, ahol az egyik játékos két bábut mozgat, mialatt ellenfele csak eggyel lép.

Az elképzelés, ami az „Auftragstaktik" lényege, hogy az alárendelt parancsnokok csak egy (általános) feladatot kapnak, és az elöljáró a végrehajtásban nagy szabadságot biztosít számukra. Ne gondoljuk azonban, hogy a harcparancs formai megváltoztatásával elérhető lenne ezen elv életre keltése vagy átvétele. Ez egy olyan vezetési eljárás, amely nem tudatosan egy filozófiából vagy szükségszerűségből fejlődött ki, hanem saját magától „nőtt" ezért mintegy magától értetődő dolgot szemléljük.

Látható, hogy az „Auftragstaktik" nem egy egyik napról a másikra megalkotott vezetési eljárás, hanem az a több évtizedes népnevelésből, az egyén tiszteletben tartásából, a rendfokozat nélküliek, a tiszthelyettesek és fiatalabb tisztek megbecsüléséből fejlődött ki. Nem utolsósorban az „Auftragstaktik" a szakmai felkészültség több évtizeden át magas szinten való megkövetelése és tiszteletben tartása, amelyből a magabiztosság és az öntudat adódik.

Nagyon fontos és döntő, amit a külföldi megfigyelők is megállapítottak, hogy az önállóság nem csak a harcmezőre korlátozódik, hanem azon kívül is érvényesül. Ők az önállóságot és öntudatosságot nem csak a tiszteknél, hanem a tiszthelyetteseknél és a legénységi állománynál is látták.

Megvalósulásának feltételei

Megvalósulásának első feltétel az önálló cselekvés, amely azonban csak akkor lehet alapelv, ha tökéletesen meg tudunk felelni a szakmai követelményeknek. Ez az alapelv a hadsereg minden egyes beosztásában lévőt érinti és messzemenően feltételezi az egységes elvek és szabályzók alapján felkészített és kiválasztott parancsnoki állományt.

A második feltétel: magas szintű öntudatosság. Önálló cselekvés és az „Auftragstaktik" csak ott létezik, ahol

- a katonák, mint a mesterek tekintenek eszközeikre;

[10] Lord Michael Carver: Dilemmas of the desert war, London, 1996.

- a parancsnokok büszkék arra, hogy csapatnál parancsnoki beosztásban szolgálnak;
- a tiszthelyettesek és tisztek mindennél előbbre tartják azt, hogy ők csapat (alegység) parancsnokok és nem a következő törzsbeni beosztásukra gondolnak;
- parancsnokok és beosztottak közötti kölcsönös bizalom és jó emberi viszonyok.

A harmadik feltételt különösen nehéz teljesíteni. Ez az elöljárókat érinti, akik csak akkor követelhetik meg az „Auftragstaktik" teljesítését, ha ők maguk is elfogadják azokat az alárendelteket, akik másként cselekszenek, mint ahogy ők elvárták volna.

Ha az elöljáró túl gyakran túl korán és túl erélyesen lép közbe, talán megakadályozhat néhány hibát, de ugyanakkor nagy baklövést is követ el, mert gátolja az önállóság kialakulását, fejlődését.

Az elöljárónak fel kell ismernie, hogy (a fegyelmezetlenség kivételével) csak egy oka lehet a szigorú feddésnek: a tétlenség, a fentről jövő parancsra való várakozás.

Ezt könnyű mondani, és nagyon nehéz teljesíteni. Így az „Auftragstaktik" megteremtése vagy követelése mindenekelőtt nevelést és nem az alárendeltek befolyásolását jelenti.

Végül az utolsó feltétel: a katonák gondolkodásmódja.

A hétköznapokon a csapatokat az előírások, statisztikák, ellenőrzések és tesztek uralják. A tevékenységeket előre meghatározottak a szabályzatok, előírások és útmutatások által. A parancsnokokat teljesen leköti az alárendeltek által felterjesztett jelentések, statisztikák kiértékelése és újabb jelentések, statisztikák elkészítése.

Így csak kevés idejük marad a legfontosabb feladatukra: a csapatokhoz, alegységekhez menni. Nem csak abból a célból, hogy ellenőrizzenek, hanem csak azért, hogy lássanak, hogy halljanak, hogy tanuljanak.

Természetesen léteznek olyan jelenségek is, amelyek az Auftragstaktik helyes működése ellen hatnak. Ezeket Lippai ezredes négy pontban foglalja össze:

- diktatórikus politikai hatalom;
- túlméretezett feladatok;
- képzett állomány hiánya;
- átlagosnál magasabb koordinációs igény.

Mindezek alapján kijelenthetjük, hogy az a hadsereg, amelyik az „Auftragstaktikot" magáénak akarja vallani, annak azt békében meg kell követelni a megfelelő személyi kiválasztás, előmenetel, nevelés, kiképzés és kiváltképpen a megfelelő gondolkodásmód által.

Military Leadership

A Military Leadership misztikus helyet töltött be a magyar katonai gondolkodásban. Sokan, akik az USA-ban tanultak, jártak esküdtek ezekre az elvekre, habár ők sem teljes egészében ismerték, mert hasonlatosan a német elvekhez ez sem csak az elvek ismeretében merül ki. Hazánkban is több előadást tartottak –elsősorban amerikaiak- ebben a tárgykörben és sokszor még a nyelvtanfolyamok anyagába

is beemelték és, mint Nato elveket aposztrofálták, ami teljes mértékben téves volt, hiszen mint ilyenek igazából nem is léteznek. A NATO-nak nincsenek kizárólagosan jellemző vezetési elvei. Azok az elvek, amelyeket az egyes NATO országokban alkalmaznak nem mások, mint az adott hadsereg sajátosságaihoz igazított, a klasszikus „human leadership" (emberközpontú vezetés) gondolatainak gyakorlati megvalósulásai. A következőkben röviden összefoglalom a katonai vezetési stílus (military leadership) koncepciójának lényegét.

Legjobban talán az FM 100-5pp szabályzat alapján lehet szemléltetni, hiszen itt nyomon követhető az elvek érvényesülése a harcászati szabályzatokban, a katonai tevékenységekben.

„A katona központi szerepet tölt be a Szárazföldi Haderő doktrínájában. Ő az alapja a Szárazföldi Haderő győzelmei akaratának. Szelleme, kezdeményezése, intelligenciája, fegyelme, bátorsága és szakértelme képezik a győztes Szárazföldi Haderő építőköveit. Minőségi katonák és professzionálisan gondolkodó és szakértő vezetők találkozása sokoldalú és összekovácsolt egységekben legyőzhetetlen erőt jelent a csatatéren.

A vezetők különösen kihívásokkal találják szembe magukat, és különösen felelősség terheli őket a katonákkal szemben. Vezessék őket sikeresen a veszélyben, alakítsák és óvják szellemüket, energiájukat tereljék a feladat teljesítése irányában. A vezetők tartsák szem előtt azokat a fiziológiai, pszichológiai és erkölcsi kihívásokat, melyek a katonákat érik, és úgy képezzék ki, és úgy vezessék őket, hogy akarjanak harcolni. Úgy alakítsák ki az egységeket és az alkalmi csoportokat, hogy bátran legyőzve a nehézségeket, teljesítsék feladatukat, és eltökélten törekedjenek a győzelemre."[11]

Mint látjuk a központi szerepet az ember tölti be. A military leadership abból az egyszerű tényből indul ki, hogy minden embernek van hite, értékrendje, szükségletei, vannak attitűdjei, amelyek élete, neveltetése során alakultak ki. Ezek az érzelmi, értelmi, és nem is mindig racionális elemek segítik az egyént, hogy egységesen, egészben, és a maga szempontjából lássa a világot. Ezek határozzák meg a munkához, a feladatokhoz, más személyekhez, a biztonsághoz fűződő viszonyát, és magatartás szabályozóként léteznek. A szocialista típusú katonai vezetési elmélet legnagyobb tévedése az volt, hogy azt feltételezte: egy magasabb rendű cél érdekében az emberek, mint automaták vetik alá magukat egy központi akaratnak, és hajlandók az önfeláldozásra. Valóban létezhet ilyen nagyarányú azonosulás, ez azonban nem egyszerű belátás, hanem értelmi és érzelmi azonosulás útján alakul ki, többnyire közvetlen környezeti hatások révén. A bajtársiasság, az elöljárók tisztelete, a példamutatás, a bizalom, a szakértelemben és az egymásból gyökerező hit feltétlen szükséges ahhoz, hogy az egyén önfeláldozó módon viszonyuljon a hadsereg egészéhez és hazájához. Olyan ez, mint egy szisztematikus építkezés: minden téglára–mint ismeretre – kötőanyagra - mint hitre, bizalomra – szükség van ahhoz, hogy az egyének, csoportok, rajok, szakaszok, századok, zászlóaljak felkészültsége gyakorlata révén professzionalista értékek alakuljanak ki, és ez ötvöződjön a haza, a nemzet iránti elkötelezettséggel és hittel. Törekszünk ezen elvek megismerésére, elterjesztésére a

[11] FM 100-5pp 341

Magyar Honvédségben, de az építkezés befejezéséhez még időre, még több építőanyagra és nagyon tervszerűnek kell lenni és folyamatosnak. Minden nap eggyel több téglát kell elhelyezni a falban. Ne legyenek azonban illúzióink, ha ezeket az elveket -vagy másokat- nem illesztünk a hagyományainkhoz, lehetőségeinkhez, a MH belső viszonyaihoz akkor hiábavalóak lesznek fáradozásaink.

Magyar Királyi Honvédség

Ha meg akarjuk ismerni a magyar katonai gondolkodás kialakulását, vagy ha keressük azokat a gyökereket, ahová visszanyúlva hagyomány teremthetünk, esetleg keressük azon fogalmak magyarázatát, amelyeket már az Auftragstaktik bemutatása során is alkalmaztunk mindenképpen célszerű a Magyar Királyi Honvédség vezetési elveihez visszanyúlni. Meglepően egyezni fognak a megfogalmazott elvek a már előzőekben ismertetett modern vezetésfelfogás elveivel. Az anyaggyűjtés során meglepő volt, hogy milyen gazdag ennek a korszaknak az irodalma, és ezeket az elveket mennyire beépítették a szabályzatokba, ugyanakkor természetesen beárnyékolja a kinyilatkoztatott elvek életképességét az a tény, hogy sok utasítás, amely szorgalmazta ezen elvek alkalmazását közvetlenül a doni katasztrófa előtt született. Látnunk kell azonban azt is, hogy már az Auftragstaktik ellen ható tényezők ismertetése során érintettük azokat a problémákat, amelyek itt is a katasztrófához vezettek.

A Magyar Honvédség születése az 1848-49-es forradalom és szabadságharc idejére tehető, és ettől a pillanattól eredeztethetjük hadseregünk különböző, nagyrészt idegen befolyásra történő, átszervezését, amely a mai napig is érezteti hatását. Ezek az átalakítások többé-kevésbé a folyamatosan fejlődő technika, és a vele párhuzamosan változó harceljárások minél hatékonyabb alkalmazását szolgálták, és szolgálják; hatásuk pedig mind a mai napig érezhetők katonai gondolkodásunkban. A magyar katonák az elmúlt évszázadokban bebizonyították, hogy képesek az újat befogadni, azt eredményesen alkalmazni.

A napóleoni időktől az 1930-as évek elejéig a clausewitzi iskola határozza meg a katonai gondolkodást hazánkban. Ez idő alatt a porosz elvek jelentették a mintát a katonák számára. Ezen a folyamaton csak Werth Henrik akadémia parancsnokságát követően tapasztalhatunk változást. Természetesen nem állíthatjuk, hogy ez a hatás ilyen egyoldalú lett volna, de kétségtelen, hogy amit a porosz-német seregek a XIX. században, valamint a két világháború alatt produkáltak, nem kerülték el a hadtudósok figyelmét. Azt is megfigyelték gondolkodóink, hogy a magyar és más nemzet katonája is képes ilyen teljesítményekre, ezért lázas kutatás folyt a katonai teljesítmények porosz szintre történő emelésének érdekében. Tehát elmondhatjuk, hogy nem öncélúan nyúltak a porosz elvekhez, hanem ezért, mert felismerték, hogy a feladatok végrehajtása során mennyi pluszt jelent ezen elvek alkalmazása. Tudósaink, katonáink megpróbáltak különböző magyarázatokat találni németek sikereire. E magyarázatok között találhatunk olyat, amely a harceljárásban, olyat, amely nemzeti sajátosságok megnyilvánulásában valamint olyat is, amely a magasabb rendű fajban látták e különbség okait. Az

egyik legfontosabb felismerést Szombathelyi vezérőrnagy tette -sajnos már túl későn- a doni katasztrófa szorításában.

Így fogalmaz: *„Ez a megismerés, hogy mindennek az alapja a harcos, bennem már régi. Bevallom, hogy nem minden kerülő nélkül jutottam el ide. Sok szép elképzeléstől kellett búcsút venni. Az eseményeket sok cicomától kellett megtisztítani, míg azokat mezítelenre vetkőztetve, felfedeztem a harcost, mint mindennek az alapját."*[12]

Ugye szembetűnő a hasonlóság a már előzőekben idézett FM100-5-el? Az egyetlen hibája, hogy a felismerés túl késői és már nem volt idő az alkalmazására. A rendelkezésre álló irodalom tanulmányozása során több helyen találkozunk hasonló nézetekkel, de ezek az anyagok nagyrészt a parancsnokokkal, a tisztekkel szemben támasztott követelményekkel foglalkoznak.

Ha áttekintjük az e témával foglalkozó irodalmat, egy határozott irányvonalat figyelhetünk meg. Az I. világháború utáni meglehetősen általánosító felfogás a II. világháború idejére már komoly tudományos tartalommal, háttérrel alátámasztott elvárások rendszerévé duzzadt annyira, hogy már ezért vált akadályozó tényezővé a harc során. A kimutatható fejlődés ellenére megfigyelhető a mérnöki szemlélet dominanciája. A katonai felső vezetés a II. világháború előestéjén már felismerte, hogy valami gond van az emberi viszonyok kérdésében. Volt olyan elképzelés, ami a vezérkari- és csapattisztek egymás közti ellentétét célozta meg, akadt olyan, amely a vezetési szinteknek próbált különböző irányelveket szabni. Azt is láthatjuk, hogy a felismerések mindig valamilyen probléma megjelenése után kerültek felszínre. Kimondhatjuk, hogy bár megállapításaik önmagukban megfeleltek a kor és a helyzet követelményeinek, a korábban elmulasztott tudati, kulturális és szemléletmód alapjainak lerakása miatt az semmilyen parancsnoki és végrehajtói szint nem tudta realizálni. Ezzel magyarázható például a vezérkari intézkedések, utasítások hangnemének eldurvulása, amik a korábbiakból következően ugyanúgy nem érték el alapvető céljukat, ellenben óriási erkölcsi kárt okoztak.

Werth Henrik tábornok akadémia parancsnoki, majd vérkari főnöki beosztásai során tartott előadásaiban, tanulmányaiban és utasításaiban egyértelműen felfedezhetőek a német elvek és tanulmányozásuk során korhű képet kaphatunk ezen időszak gondolkodásáról, problémáiról. Véleménye szerint a hadműveletek sikere a céltudatosságon, az egyszerűségen, a sémanélküliségen, az önállóságon és a merészségen múlik.

Ezen állításait az alábbiakkal magyarázza: *„A felső vezető sem lesz mindig azon helyzetben, hogy az alárendelt seregtestek ténykedését előírja; önálló cselekvésre kell ezért a vezetőket nevelni, nehogy válságos helyzetekben parancsra várjanak, vagy pedig kedvező helyzeteket kihasználatlanul hagyjanak."*

Javasolja, hogy *„ha felsőbb helyről határozott feladat nincs megszabva, a vezető maga határozza el, hogy feladatát támadással, védelemmel vagy halogató harccal óhajtja-e megoldani. Kétes*

[12] Utasítás a hadiakadémia számára, 6933. Szám/Vkf. Szgd. 1942. 3. oldal

esetekben és tisztázatlan helyzetekben mindig jobb lesz merészebben eljárni, és a kezdeményezést magához ragadni." [13]

Önmagában az önálló cselekvés szükségességének megfogalmazása nem számított újdonságnak, hiszen ez benne volt a kor katonai gondolkodásában, de Werth ezt eddig nem vizsgált nézőpontból írta le:

A kezdeményezés és kezdés fogalmának tárgyalásakor említi, hogy *„Tehát mit értünk mi katonák kezdeményezés alatt? Értjük alatta a tényked*ésünknek oly megindítását, mellyel saját akaratunkat az ellenségre ráerőszakoljuk olyképpen, hogy ez alóla magát ne tudja kivonni célunk eléréséig. Ezáltal az ellenség kényszerítve lesz az általunk teremtett helyzetekhez alkalmazkodni, sőt azáltal, hogy sohasem esünk passzív magatartásba, terveit általában megakasztjuk. Ez alkalmat ad a vezetésnek, hogy a hadműveleteknél állandóan szabadkeze legyen, és saját akaratát véghez vihesse. Ez a kezdeményezés magasabb szemszögből nézve. A kezdeményezésnek azonban egy válfaját is ismerjük, és ez az alsóbb vezetésnél van jelen, ahol a kezdeményezés az ***értelmen alapuló öntevékenység***, mely a felső vezetés gondolatmenetében működik."

„Elvetendő az egyén azon kifogása tétlenség estén, hogy nem kapott parancsot, azonban nem helyeselhető az sem, hogy valaki a parancs szó-szoros értelméhez ragaszkodik, amikor alkalom nyílik az öntevékenységre."[14]

A későbbiekben pontosan megfogalmazza, hogy milyen követelményeknek kell a parancsnoknak megfelelnie, hogy képes legyen az önállóság szülte megnövekedett felelősségnek megfelelni:

„Mint első és egyike a legfontosabb alapfeltételeknek a helyes és gyors elhatározó-képességet vehetjük. Ehhez erős akarat, ítélőképesség, céltudatosság, józan merészség és a rendelkezésre álló erők gazdaságos bevetése és felhasználása szükséges."[15]

A kezdeményezés és kezdés problematikájáról írja:

„A kezdeményezés fogalmába, ha elemezzük, beletartozik a gondolat megszületése, annak terve, a megindítása és folyamata addig, amíg esetleg kénytelenek vagyunk a kezdeményezést a kezünkből kiadni. Ha tehát kezdeményezésről beszélünk, akkor a kezdés fogalma hozzátartozik.

A kezdés alatt viszont nem értünk egyebet, mint egy hadműveletnek, egy katonai tevékenységnek a megindítását."[16]

Láthatjuk, hogy ezek a gondolatok nem idegenek még sem a mai nyugati, sem a magyar katonai gondolkodástól. Azt is látnunk kell, hogy Werth már felismeri a problémát a honvédségen belül, de a megoldást nem tudja még, vagy egyszerűen nincs már idő a végrehajtására, így sokszor csak kétségbeesett próbálkozások maradnak. Példaként említhetjük, hogy amidőn felismerte, hogy a magyar vezérkar eltávolodott a csapatoktól és nagy a bizalomvesztés egy pályázat kiírása formájában próbálja meg megkeresni a megoldást.

[13] Werth Henrik tábornok: Felső vezetés, előadás kézirata 5. o.
[14] Werth Henrik tábornok: A kezdeményezés és a kezdés azonos fogalom-e? előadás kézirata, 141. oldal
[15] Werth Henrik tábornok: A kezdeményezés és a kezdés azonos fogalom-e? előadás kézirata, 146. oldal
[16] Werth Henrik tábornok: A kezdeményezés és a kezdés azonos fogalom-e? előadás kézirata, 158. oldal

A másik autentikus személy a kor viszonyainak vizsgálatához vitéz Szombathelyi Ferenc vezérezredes, aki szintén felismerte a problémákat, megoldásra is intézkedik, csak megint előkerül az idő problémája. Ugyanakkor fontosnak tartom néhány megállapítását idézni kommentár nélkül, mert napjainkra is üzenetértékkel bírnak. Az idézetek az 1942-ben a hadiakadémia számára írt utasításából származnak.[17]

„Én a vezérkartól azt követelem, hogy gyakorlati talajon álljon és magyar legyen. Ez szolgáljon irányelvül a hadiakadémiában a vezérkari utánpótlás kiképzésénél. A vezérkar utánpótlását ebben a szellemben kell nevelni. Ez azt jelenti, hogy a tudományos kiképzés ne tisztán elméleti megismerés síkján mozogjon, hanem a gyakorlati élet követelményeit szolgálja és számoljon a magyar viszonyokkal. Tudása gyakorlatias és magyar szellemű legyen."

„Különösen izgatólag hatottak e téren a külföldi események. Parancsuralmi rendszerek keletkezése, amelyek dinamikája főként a fiatal lelkeket hatalmába kerítette. A magyar glóbusz szűk lett, sőt kárhozatos. De szűk lett a katonai tudomány is. Miután azt tanulták, hogy a hadvezetés folytatása a politikának csak más eszközökkel, sem a folytatás, sem a más eszközök nem érdekelték őket, így a hadvezetés a politikai kérdésekkel szemben háttérbe szorult. Politikai és közgazdasági problémák kezdték izgatni a kedélyeket, ilyen irányú tanulmányok láttak napvilágot. Láthatjuk tehát, hogy ez túlhajtott és ferde irányba terelt elméleti kiképzés nem volt alkalmas sem a katonai, sem a magyar öntudat és szellem kialakítására, de alkalmas volt arra, hogy idegen eszmék szolgálatába állítson."

„Látták a magyar katonát harcolni és tapasztalhatták azt is, hogy ***úgy a harcászat, mint a hadászat alapját*** *nem a tudomány, okoskodás, hanem* ***a harcos képezi****. Mérlegeléseinknek tehát nem a hadászat magas és ködös régióiból, sem a harcászat dinamikus talajáról kell kiindulnia, hanem a harcosból. Ez a harcos minden stratégia és taktika egyedüli és reális tényezője. A stratégia épületkövét a harcos katona képezi. Minél keményebb és edzettebb a harcos, annál merészebb ívelésű lehet a stratégia épülete, és annál jobban lehet a harchelyzeteket feszíteni. E harcosnak ismerete, illetve előkészítése nélkül a vezérkar a tervezgetéseknél a felhőkbe jár. Ezért nem véletlen, vagy szerénység megjátszása az, hogy a legtöbb kiváló hadvezér győzelméért az érdemeket az egyszerű harcosra hárítja át. De azt is látjuk, hogy ezek a nagy hadvezérek mindent megtettek, hogy a harcos katonáik minél jobbak és minél ütőképesebbek legyenek. „*

„Mi a tudományból csak azt értékesíthetjük, ami a mi viszonyainkra, a mi hadseregünkre alkalmazható. A vezérkar tudományának valódi reális értéke a nemzet szempontjából nem abban rejlik, hogy ez klasszikus, hanem abban, hogy a nemzet viszonyaira helyesen alkalmazott. Ez egyben a mi szempontunkból klasszikus is. Magyarul klasszikus. De a tágabb hadvezetés szempontjából is a legnagyobb művészet, mert a mesteri alkotás titka mindenkor a mértéktartásban, az arányok helyes értékelésében rejlik. Nincs nagyobb művészet annál, mint valamely hadsereget erejének, nemzeti viszonyainak megfelelően eredményesen vezetni. Ezért nem kell félni a magyar vezetőknek és

[17] Utasítás a hadiakadémia számára, 6933. Szám/Vkf. Szgd. 1942.

vezérkarnak, hogy nem vezethetnek sikerrel, mert csak a magyar csapatokat és nem klasszikus értékű csapatokat vezetnek. Ez nem fogja őket sohasem akadályozni akkor, ha a magyar csapatokat magyarul vezetik, és nem németül akarják vezetni.

„A mi katonai mérlegeléseink mindig csak azon alapból indulhatnak ki, hogy kis nemzet vagyunk. Minden tudásnak csak ebben a felismerésben szabad kicsendülni, mert különben viszonyainkon felül élünk és attól eltávolodunk. Ezért óvatosabban kell járni. Kis népek is lehetnek hősök. Sőt azoknak kell lenniök, mert másképp elpusztulnának, csak hősködniük nem szabad….. Tudásunkban és elképzeléseinkben tehát legyünk szerények és mértéktartóak, s akkor máris jó magyar katonák leszünk."

„Miután vezérkarunk főként a német klasszikusokat tanulta, szemléletében idegen lett. Átvette a nagy népek dinamikáját és logikáját. Úgy gondolkozott mintha nem is egy szegény kis nép katonája lenne, hanem egy 90 milliós nép haderejének tagja. Így szellemileg viszonyain felül élt. Elképzeléseiben és törekvéseiben a magyar élettől és valóságtól messze eltávolodott, és ami a legrosszabb, azt észre sem vette. Végül is azt hitte, hogy idegen csapatokat vezet. Terveit és reményeit ehhez szabta. Pedig neki magyar csapatokat kell vezetni. A magyar katona pedig más, mint a többi. „

„Mindezek a mozzanatok, amelyeket fentebb említettem, tisztán vezetés – technikai kérdések. Ezt tudja a parancsnok. Az egyszerű harcosnak ehhez semmi köze nincs. Az egyszerű katona akár színleli a támadást, akár halogatást csinál, nem színlelve és halogatva esik el, vagy sebesül meg, hanem komolyan. Az ő szempontjából a harc mindig végzetesen komoly. Neki mindig komolyan, sőt legkomolyabban kell harcolnia. Ez a harc nála csak két formában jut kifejezésre: vagy támad, vagy véd."

„A katona mesterség rendkívül egyszerű, éppen ezért igen nagy hibákat lehet elkövetni és rendesen azon a vonalon, hogy az egyszerűséget túl akarjuk licitálni. A csapatok kezébe rendkívül egyszerű szabályzat való. Tiszta és átlátszó. És még így is a dolgok nem ezen a síkon, hanem a gyakorlati síkon és a csapat jó szellemén dőlnek el. Ezért nem is annyira a szabályzat a fontos. Fontosabb a haderő egész gyakorlati és szellemi felkészültsége, valamint belső értéke."

„Kis állam vezérkarának különösen kell vigyázni, nehogy viszonyain felüli képzeletvilágban éljen és ezáltal a gyakorlati élettől és a nemzetétől eltávolodjon. Kis állam vezérkarát különösen nagy felelősség terheli, ezért nagyon reális utakon kell járni. Bármennyire képzettek legyünk is, be kell látnunk, hogy kis népnek a fal mellett kell járni. Teljesítőképességünknek határai vannak. Kápolna, Hatvan, Isaszeg, Budavár, Piski, nem Canna, nem Sedan, nem Tannenberg, de magyar csaták. Tipikusan azok. Telve hibákkal, de erényekkel is, amelyek a mi lehetőségünk határán fekszenek. Ezt kell felismernünk, csak úgy állunk reális magyar talajon.

Különösen Canna és Tannenberg éppoly kevésbé vezettek a végső győzelemre, mint Kápolna, vagy Isaszeg, vagy Budavár. Sedan-nal pedig tulajdonképpen megkezdődött a komoly francia háború, mely eddig csak Blitzkrieg volt. – Canna és Tannenberg olyanok, mint egy fényes tűzijáték, mely fényével elvakít, de utána annál nagyobb a sötétség. A háború szerencsés befejezéséhez nem elég a merészség. Bölcsesség és mértéktartás is kell hozzá. Sajnos 1849-ben ez nálunk is hiányzott."

A Magyar Néphadsereg

Cikkem előző részeiben már említettem, hogy a honvédség mindig valamely külső behatás alapján alakította vezetési elveit. A vezetés-irányítás hazai elmélete és gyakorlata a II. világháború előtt elsősorban a német, az azt követő időszakban a szovjet modellhez igazodott. Az a viszonylagos szabadság, amely a polgári életben legalább a gondolat és a vezetői gyakorlat egy részében megjelenhetett, a hadseregen belül a Varsói Szerződéshez tartozás, a „kompatibilitás" szovjet szabályzatokra épülő rendszere miatt fel sem merülhetett.

A magyar katonai gondolkodásban egyértelműen jelen volt és van a szovjet modell, amelyet érzékletesen bizonyít az alábbi idézet:*„A vezetés az egységek és alegységek folyamatos irányításából, a csapatok harctevékenységének megszervezéséből és erőkifejtésüknek a megszabott harcfeladatra való összpontosításából áll."*[18]

A fenti idézet híven tükrözi azt a gondolati folyamatot, ami a csapatok vezetését a rendszerváltásig meghatározta. E sajátos értelmezés abból adódik, hogy az emberek közvetlen befolyásolását nem a parancsnok, hanem egy erre speciálisan létrehozott rendszer, a pártpolitikai apparátus végezte. Ebből adódóan a parancsnoknak igazából csak két dolognak kellett megfelelnie:

- A pártpolitikai elvárásoknak, és a szintjének megfelelő, szigorúan katonai, szakmai feltételeknek.

A kommunista ideológia világforradalmi gondolkodásmódja a hadseregek magas szinten tartását igényelte, ami folyamatos, intenzív szellemi erőfeszítést követelt meg a kor hadtudósaitól. Az elvek és harceljárások folyamatos fejlesztése figyelhető meg ebben az időszakban.

Erre az időszakra is jellemző, hogy a vezetés alapjait a Taylor-rendszeren alapuló német üzemgazdaságtan határozta meg. Itt is az a jellemző, hogy a rendszer okos vezetőkben és a tanulatlan de a parancsokat gondolkodás nélkül végrehajtó beosztottakban látta a hatékony hadseregvezetés megvalósulását. Azt is el kell ismerni, hogy a parancsnoki állomány nagy része szakmailag kiválóan felkészült volt, ugyanakkor a vezetői gondolkodása erősen „parancsnoki" gondolkodás volt. Jellemző volt a feladatok mindenáron való végrehajtása, még azokban az időszakokban is amikor a feltételek egyre szűkölő képet mutattak. A hivatásos állományról el kell mondani, hogy feladatát nemcsak nagy szakértelemmel, hanem a haza ügye iránti feltétlen elkötelezettséggel is végezte. A lelkiismeretes, áldozatkész munkát azonban a társadalom egyre kevésbé ismerte el és a katonák helyzete egyre nehezebbé vált. A 90-es évekre egyre nagyobb lett a bizonytalanság az állományban, hiszen egyre kisebb lett a hadsereg, egyre kevésbé találták helyüket a társadalomban. Azok az ideológiák, amelyekben hittek már nem voltak igazak, azok a feladatok, amelyeket nap, mint nap végrehajtottak már nem voltak fontosak. Ez a helyzet hasonlatos volt A Profi című filmben látottakhoz, ahol a főszereplő Josselin Beaumont nem érti, hogy az a feladat, ami tegnap még az volt, az ma miért nem és aki még tegnap ellenség volt, az ma miért barát. A kialakult ellenségkép egyik napról a másikra

[18] Harcászat. Szerzői munkaközösség: második kiadás, Zrínyi Katonai Kiadó, 1970 120. oldal

eltűnt, és azok a szabályzatok amely alapján meghatározott volt minden tevékenységük idejét múlttá váltak. Egy viszonylag zárt világból a politikusok és a társadalom kereszttüzébe kerültek, ahol nem találták a helyüket és ahol az érdekérvényesítő képességük elégtelennek bizonyult. Megindult a jól felkészült, tapasztalt szakemberek kiáramlása a honvédség kötelékéből, ami nagymértékben még ma is érezteti hatását.

A rendszerváltástól napjainkig

Ezen időszak gondolkodásmódját nagymértékben meghatározta a hadseregen belüli bizonytalanság érzete. Folyamatosan követték egymást a haderőreformok, amelyek célja minden esetben egy létszámában kisebb, de ütőképesebb, a kor színvonalán álló hadsereg létrehozása volt. Nem volt azonban észrevehető az egyes haderőreformok egymásra épülése és az állománynak nem megfelelően lett kommunikálva a cél és az ok. A parancsnoki állomány nem érezte a politika, a civil társadalom támogatását. Egyre kevesebb lett a tapasztalt, szakmailag felkészült szakember, hiszen minden egyes haderőreformnál sokan váltak ki a honvédség kötelékéből és nagyon sok embernek szinte teljesen új, eddig számára ismeretlen beosztás ellátását kellett megtanulni. Ma már korosztályok hiányoznak a hadseregből. A probléma nem az, hogy a fiatalabbak nem lennének képzettek, hanem az, hogy hiányzik a tapasztalat, amely kiforrott vezetővé teszi a katonát. Tudomásul kell venni, hogy parancsnoknak, vezetőnek lenni is egy szakma, amelyre minden egyes beosztásában, minden egyes lépcsőfokon érni kell és, amennyiben kimaradnak lépcsőfokok a szakmailag kiválóan képzett szakemberek is nehezen tudnak megfelelni az elvárásoknak.

Nem járható az, az út, hogy egy bizonyos szintig nehéz a csapatokhoz parancsnokokat találni. Nehéz –és tisztelet a kivételnek- olyan tisztet találni ma csapatoknál, aki század, zászlóaljparancsnoki beosztás miatt vállalták a csapatszolgálat valamely magasabb parancsnokság állományából, hiszen ezzel nemhogy nagyobb felelősséget vesz a nyakába, még fizetésben is rosszabbul jár.

A NATO csatlakozásunk kapcsán megfigyelhető, hogy tisztjeink egy része újra a kiválás mellett döntött, hiszen újabb követelmények, új szabályzatok, új feladatok jelentek meg és ők már nem akarták mindezt felvállalni. A csatlakozás azonban nagyon sok új lehetőséget is teremtett, hiszen lehetőség lett külföldön tanulni, nyelveket tanulni, új missziókban részt venni és beosztásokat betölteni. Sokan kaptak lehetőséget külföldi tanintézetben, csapatoknál tanulni és cserébe sok, nagyon jól felkészült tisztet kaptunk, amely előrevitte a hadseregben folyó munkát. Ezzel párhuzamosan azonban megjelent az a probléma, hogy aki Németországban tanult az a német elveket, aki az USA-ban tanult az, az amerikai elveket stb. preferálta és ezáltal az egyes alakulatok mást és mást értettek ugyanazon a fogalmon. Ennek egyik legjobb példája a raj, szakasz, század, zászlóalj, dandár doktrínák kidolgozása, ahol az egyes alakulatok egy-egy doktrínát kaptak feladatul és bizony ezek nemhogy a harceljárások tekintetében nem egyeztek, de még csak fogalomkészletükben sem.

Az előbbiekben már érintettem a szabályzatok és doktrínák problémáját, hiszen ezek nem tudták, és nem is lehetett követni az átszervezéseket (szervezeti egységek tűntek el, fegyvernemek csökkente le,

új szervezetek jöttek létre). A katonai gondolkodás egyik pozitív eleme az önálló cselekvés, de ez nem a szabályzatokban lefektetett elvek kitalálását jelentik, hanem azok alkotó módon történő alkalmazását. A katonát az teszi magabiztossá, hogy kiválóan ismeri a szakmáját, de ezt valahonnan meg kell tanulni.

Nem erősíti az sem a katonák magabiztosságát, hogy az előmeneteli rendszer –pontosan a hadsereg rossz korfája miatt- beszűkült és nem tervezhető az előmenetel. Néha szinte csak „kihalásos" alapon lehet magasabb beosztásba kerülni.

Tisztjeink gondolkodását nagymértékben befolyásolják a civil társadalomban végbemenő társadalmi változások, viselkedésmódok és főleg a fiatalabbaknál egyre inkább kikopnak a klasszikus katonai értékek, amelyek meghatározták a katonai gondolkodást. Fiatal tisztjeink, tiszthelyetteseink ugyanabból a korosztályból, sokszor társadalmi közegből származnak, mint a szerződéses állomány. Egyre kevésbé viselkednek velük szemben parancsnokként, vezetőként, egyre inkább szakmának, pénzkereseti formának tekintik a honvédséget

A parancsnokoknak már bizonyos szinttől kezdődően menedzserként is meg kell felelniük-különösen, ha figyelembe vesszük az anyagi források szűkösségét-, sőt egyre elengedhetetlenebb a médiában vagy társadalmi rendezvényeken való részvétel, ami újabb követelményeket támaszt a parancsnokokkal szemben. Tudomásul kell venni, hogy a helyőrségekben a parancsnokok közéleti személyiségeknek számítanak és, mint ilyenek mindenkor a figyelem középpontjában vannak, sőt velük azonosítják a Magyar Honvédséget. És, hogy mennyire megváltoztak a parancsnokok feladatai arra nagyon jó –de annál kellemetlenebb- példa a gazdasági válság okozta probléma, hiszen a katonák illetményének vásárló értéke egyre kevesebb, és nagyon sok szerződéses legénységi állományú katona, de tiszt, tiszthelyettes családjának a megélhetése is veszélybe került. Egy felelősen gondolkodó parancsnok nem teheti meg, hogy nem vesz tudomást erről a problémáról, hiszen felelősséggel tartozik ezekért az emberekért, a kiképzésükért, a fegyelmi állapotért, de hogyan tudna egy ilyen problémákkal küzdő ember jól teljesíteni és dőreség lenne azt hinni, hogy előbb, vagy utóbb nem nyúlnak hozzá azokhoz a javakhoz, amelyeket kezelnek, vagy amelyhez hozzáférnek (üzemanyag, ruházati anyag stb.). Vagy tudomásul veheti-e egy parancsnok, hogy azért állnak a technikai eszközök nagy számban, mert nincs megfelelő számú gépjárművezető és a központi költségvetés nem tud a képzésre pénzt biztosítani? Vagy tudomásul vehető-e, hogy azért hiányzik sok tiszthelyettes a rendszerből, mert az illetmények miatt kevés az érettségivel rendelkező, tiszthelyettesnek alkalmas szerződéses katona, vagy ezek pár ezer forint többletért már kilépnek a hadseregből! Nem hiszem, hogy sokan válaszolnák azt, hogy igen tudomásul veszi. Sokkal inkább megkeresik a probléma megoldásának lehetőségét és ezzel is más feladatoktól, vagy saját maguktól elvonva az időt.

A kiképzési rendszerünk átalakult és megfelelően támogatta a katonák felkészítését feladataikra. Sajnos azonban a létszám tovább csökkent így nagyon sokszor a missziós feladatokra való felkészülés határozza meg az alakulatok, alegységek kiképzését. Pedig a katonák alaprendeltetésükre való

felkészülése nem egyenlő a missziós felkészüléssel. A meglévő létszámhiány és az önkéntes jelentkezés, valamint sokszor a misszióra való alkalmatlanság miatt nem homogén alegységek kerülnek alkalmazásra, így több alegység megbomlik, ami sokszor lehetetlenné teszi a „klasszikus" katonai feladatokra való tervszerű felkészítést, amely elengedhetetlenül szükséges lenne az alapképességek kialakításához, szinten tartásához, esetleg fejlesztéséhez. Nem is beszélve a parancsnoki állomány harcvezetői képességeinek, gyakorlatának kialakításához.

Javaslatok

Sokan vallják azt és hangoztatják, hogy a Magyar Honvédségben be kellene vezetni, vagy erősíteni kellene az új vezetési elveket, vagy gondolkodásmódot. Azt gondolom ez a megfogalmazás nem helyes, hiszen ezek az elvek önmagukban nem léteznek, hanem ezek többek között a hadseregen belüli emberi viszonyokat, a hadsereg fegyelmi állapotát, előmeneteli rendszerét, a törvények, utasítások betartását, alkalmazását, a hadsereg és a társadalom viszonyát stb. jelentik. Nem is beszélve arról, hogy az elmúlt években a felsorolt problémák ellenére változtak a parancsnokok vezetői kvalitásai, a technikai eszközök fejlesztése, az emberi viszonyok javulása, vagy az élet- és munkakörülmények javulása is mind pozitív hatást gyakorolt az állomány gondolkodásmódjára.

Ugyanakkor el kell ismerni, hogy ezek a változások nem volta, olyan üteműek, és sokszor olyan irányúak, mint az elvárható, vagy szükséges lett volna.

A feladatok csoportosítását Lippai alezredes a küldetésorientált vezetésről írt tanulmánya szerinti feltételek alapján teszem meg.[19] Annál is inkább, hiszen a Magyar Honvédségnek véleményem szerint ebbe az irányba kell elmozdulnia és erre a törekvés meg is van, csak néha a jól megalkotott szabályok tipikusan magyar utat járnak be. Gondoljunk csak a teljesítmények értékelésének rendszerére, amely logikusan felépített és alkalmas a katonák munkájának, képességeinek értékelésére, csak éppen nem vesszük figyelembe minden esetben a döntéseknél.

Ezek a következők:

1. Egységes elvek és szabályzók alapján, kiválóan felkészült parancsnoki állomány.
2. A parancsnokok és beosztottak között fennálló, egymás tiszteletén és tényleges teljesítményen alapuló kölcsönös bizalom.
3. Önmagukban bízó, önállóan gondolkodni, dönteni, cselekedni is képes és tudó alárendeltek.
4. Jól működő belső kommunikáció, nyílt és őszinte emberi viszonyok a parancsnokok és beosztottak között.
5. Egyértelmű és világos parancsnoki szándék.

1. Egységes elvek és szabályzók alapján, kiválóan felkészült parancsnoki állomány.

[19] Lippai Péter alezredes: A küldetésorientált vezetéselmélet és az önkéntes haderő. Seregszemle, VII.évfolyam 2.szám 2009

Ennek a feltételnek a teljesülése az alapja a küldetésorientált vezetés többi feltételének a teljesüléséhez is.

- Nyilvánvaló, hogy parancsnokokat a legjobban felkészült, legjobban rátermett állományból kell kiválasztani. Ennek azonban nem szabad szubjektívnek lenni, hanem az alapját messzemenően a teljesítményértékeléseknek kell képezni.
- Meg kell határozni azokat a követelményeket, amelyek az egyes beosztások betöltéséhez szükségesek és ezeket szigorúan be kell tartani, tartatni.
- Versenyfeltételeket kell teremteni, ahol mindig csak a legjobbak léphetnek előre.
- A parancsnoki beosztásokat kiemelten kell kezelni, fizetni és nem a magasabb parancsnokságon kell ezeket a juttatásokat adni, hiszen ezzel bebetonozunk embereket és megteremtjük azt, hogy a tisztek a magasabb törzsek irányába törekszenek.
- Átjárhatóvá kell tenni a honvédséget, tehát a vezérkarnál, magasabb törzseknél szolgálóknak is kötelező legyen csapatnál is szolgálni.
- Minden egyes beosztásban meg kell adni azokat a képzéseket, amelyek a beosztással járó speciális feladatok teljesítését lehetővé teszik pl. kommunikációs felkészítés.
- Ki kell alakítani a tisztekben a széles látókörre való igényt, tudatosítani kell az értelmiségi lét követelményeit.
- Ki kell alakítani az önképzés, a művelődés igényét.
- Fel kell készíteni már a kezdetektől a közszereplésre őket.
- Át kell gondolni leendő tisztjeink főiskolai képzését is, hiszen sokkal több gyakorlati tudással és alkalmazható vezetési ismerettel kellene kilépniük az iskolából, vagy meggondolni azt, hogy már megszerzett csapattapasztalattal lehessen jelentkezni.
- Létre kell hozni azt a doktrínarendszert, ami alapján a felkészítés, kiképzés végrehajtásra kerül és amelyek alapját képezik a tevékenységüknek.
- Olyan viszonyokat kell teremteni, hogy bátran felvállalják az önálló döntés felelősségét és képes legyen önállóan cselekedni.

2. A parancsnokok és beosztottak között fennálló, egymás tiszteletén és tényleges teljesítményen alapuló kölcsönös bizalom.

- Ennek az egyik legfontosabb feltétele, a már előbbiekben ismertetett előmeneteli rendszer, hiszen ez alapján a beosztott és a parancsnok is tisztában van a másik képességeivel, mivel azért ő került ebbe a beosztásba, mert megfelelt a szigorú feltételeknek és ő volt a legjobb.
- Fontos és elengedhetetlen a személyes példamutatás és az együtt átélt élmények pl. gyakorlat, misszió stb.

- A parancsnokok és beosztottak ismerniük kell egymást. Az elöljáróknak meg kell találni a lehetőséget, hogy találkozzanak a katonákkal. Megismerjék problémáikat, képességeiket, felkészültségüket.
- Nagyon fontos a kiképzési rendszer, a kiképzési követelmények egységesítése. Amennyiben ezek a feltételek egységesek mindenkor tudni fogjuk, hogy ki, milyen szinten képes a feladatai végrehajtására.

Ilyen légkörben a beosztottban fel sem merül, hogy esetlegesen a kapott parancs helyes-e, az elöljáróban pedig az, hogy a parancsát maradéktalanul végrehajtják-e?

3. **Önmagukban bízó, önállóan gondolkodni, dönteni, cselekedni is képes és tudó alárendeltek**.

Az eddig leírtak mind feltételei ezen pont érvényesülésének és erre a pontra nagyon nehéz eljutni. Nehéz, pedig ez az egyik legfontosabb hozadéka a professzionalista hadseregnek, de idáig eljutni nehéz és ebben az elöljárók felelőssége nagy.

- Az alárendelteknek lehetőséget kell, hagyni az önálló tevékenységre és nem szabad túl korán belenyúlni a végrehajtásba még akkor sem, ha látjuk korrekcióra lenne szükség
- Feladatot kell szabni a feladat végrehajtásának a módját pedig rá kell bízni az alárendeltre.
- Gondolkodni képes, művelt, önálló véleménnyel rendelkező beosztottakat kell kinevelni.
- Sajnos sokszor előfordul, de soha ne próbáljon a parancsnok az alárendelt parancsnokok feje fölött átnyúlni, még a legenyhébb ügyekben sem, mert ezzel gyengíti a parancsnoki hierarchiát és bizonytalanná teszi a beosztottat.
- El kell fogadni azokat a beosztottakat, akik másként gondolkodnak, mint az elöljáró, de soha nem szabad eltűrni, hogy a parancsot, vagy parancsnokukat bírálják.
- Az önálló cselekvés soha nem lehet indoka a fegyelemsértésnek.
- Az alárendeltek képességét az önálló cselekvésre, a kezdeményezésre folyamatosan fejleszteni kell gyakorlatokon, továbbképzéseken, önismereti tréningeken és nem utolsó sorban a mindennapi tevékenységek során.

4. **Jól működő belső kommunikáció, nyílt és őszinte emberi viszonyok a parancsnokok és beosztottak között.**

Az előbbiekben leírtak messzemenően feltételezik a parancsnokok és a beosztottak közötti kommunikációt. Fontos és elengedhetetlen szerepet tölt be a szervezeten belüli bizalom kialakításában. Segítségével könnyebb a szervezet céljainak és az elöljáró szándékának az elfogadtatása

- A nyílt és őszinte légkör feltételezi, hogy nemcsak a kritikát, hanem az önkritikát is képesek vagyunk megfogalmazni.

- A nyílt és őszinte légkör kialakulásához természetesen csökkenni kell a hatalmi távolságoknak az egyes szintek között, de ez nem mehet a meghatározott katonai hierarchia rovására.
- Az információáramlás nem lehet egyirányú, hanem a beosztottak irányából is meg kell valósítani, és a megfelelő módon felvetett problémákat nem lehet a parancsnok személye elleni támadásnak venni.
- A parancsnoknak a megvalósítása érdekében használjon ki minden lehetőséget, hogy a beosztottak között lehessen és tájékozódjon. Ne korlátozódjon ilyen irányú tevékenysége csak az állománygyűlésekre, parancsnoki értekezletekre, vagy fogadóórákra.
- Soha ne arra használjuk ezeket a fórumokat, hogy a saját intézkedéseinket, tetteinket a beosztottak alátámasszák, vagy igazolják.
- Figyelemmel kell lenni arra, hogy a parancsnok által hozott döntések, parancsok kritizálása már ezeken a fórumokon nem lehetséges és ezért kell már az előkészítés időszakában konzultálni, vagy figyelembe venni a beosztottak véleményét.
- Fontos elem, hogy mindenki a saját szintjén tetteiért, parancsaiért vállalja felelősséget és azt ne másra próbálja áthárítani.
- Ahol az előző pontokban megfogalmazott feltételek teljesülnek, ott nem jelenthet problémát a véleménynyilvánítás kulturált mederben tartása.
- Fontos ismerni, hogy egy professzionalista hadseregekben a szigorúan szabályozott szolgálati érintkezésen kívül létezik egy szolgálati időn túli érintkezés is a katonák között, pl. laktanyán kívül, szabadidőben, amely nagymértékben magán hordozza a „civil” érintkezés jegyeit és, ami segíthet a laktanyai jó légkör kialakításában is, de ez kulturáltan kezelendő és nem mehet el az elsősorban fiatal tisztek által elkövetett „bratyizás” irányába. Én ezt úgy fogalmazom meg, hogy bizonyos rendezvényekről a parancsnoknak tudni kell időben távozni.

5. Egyértelmű és világos parancsnoki szándék.

Azt hiszem ez a pont egyértelmű, hiszen a beosztottak számára teljesen nyilvánvalóan és világosan meg kell fogalmaznia a parancsnoknak a célokat, az elvárásokat, és nem elég csak megfogalmazza, hanem azokat következetesen meg is kell követelni.

Összegzés

Azt hiszem a cikkemben nyilvánvalóvá vált, hogy milyen irányú elmozdulást látok szükségszerűnek, azonban ennek a pozitív irányú fejlődésnek vannak feltételei, feladatai, amelyeknek teljesülniük kell.

A leírtak alapján az is mindenki számára nyilvánvaló, hogy még nagyon sok követelménynek kell teljesülni ahhoz, hogy a Magyar Honvédségben is a küldetésorientált vezetési elvek honosodjanak meg. Sok feladatról beszéltünk, de ezek nem önálló feladatok, hanem a hadsereg egész belső működését érintő elvek. Amikor ezekről a feladatokról, elvekről beszélünk akkor felejtsük el, hogy ezt

azért tesszük, hogy a küldetésorientált vezetést építsük fel. Nem! Amikor ezekről a feladatokról beszélünk, vagy ezek szerint tevékenykedünk, akkor nem teszünk mást, mint kiképzünk, vezetünk, meggyőzünk, dicsérünk, büntetünk, gondoskodunk, tehát végezzük a mindennapi tevékenységünket. Felejtsük el, hogy ezt a küldetésorientált, vagy bármilyen más vezetési elvek kialakítása érdekében tesszük, hiszen , ha teljesítjük ezeket a feltételeket, akkor azt is elmondhatjuk, hogy ma már ilyen elvek alapján vezetünk. De nem ez a lényeg, hanem az, hogy milyen gondolkodású vezetőket képezünk, milyen gondolkodású hadsereget építünk fel. Amennyiben teljesítjük a meghatározott feltételeket soha nem fogunk azon gondolkodni, hogy milyen vezetési elveket is követünk. Csalóka a címben a kiképzés rendszerébe való beépülés is, hiszen, ezen elveknek nyilvánvalóan a kiképzésben is jelen kell lenniük már egészen a kisalegységek szintjétől kezdődően. Nagy gondot kell fordítani minden tevékenység során az önálló, felelősségteljes, kezdeményező gondolkodás és tevékenység kialakítására, ez azonban önmagában is egy, olyan jelentőséggel bíró téma, amely egy következő dolgozat alapját képezi.

Cikkemmel - a teljesség igénye nélkül- a célom az volt, hogy néhány példán keresztül számba vegyem azokat a problémákat, amelyek gátolják, vagy megnehezítik a parancsnokok vezetői tevékenységét, az új elvek, vagy gondolkodásmód erősítését és érzékeljük azt, hogy hol is tartunk ma ezen a téren.

A Magyar Királyi Honvédség elveit nem véletlenül taglaltam hosszabban, hiszen láthatjuk az elvekben nagyon modern nézeteket vallottak, amelyek a mai vezetési elveknek is megfelelnek, sőt figyelembe veszik a magyar viszonyokat és magyarul vannak írva. Meggyőződésem, hogy az útkeresés során célszerű lenne ide is visszanyúlni és az általuk megfogalmazott elveket és intelmeket figyelembe venni.

Remélem, hogy az általam megfogalmazottak is hozzájárulnak a közös célunk eléréséhez: egy jól működő, professzionalista hadsereg felépítéséhez.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] KLEIN Sándor: Vezetés- és szervezetpszichológia, Budapest, Edge 2000 Kiadó, 2007
[2] SCOTT Adams: Dogbert szigorúan titkos vezetői kézikönyve, SHL Hungary Kft. 1999
[3] BENKŐ Tibor altábornagy: Szolgálati kultúra a haderőreform tükrében, Seregszemle, VII.évfolyam 2.szám 2009
[4] Samuel P.HUNTINGTON: A katona és az állam, Budapest, Zrínyi Kiadó-Atlanti Kutató és Kiadó, 1994
[5] DR. PINTÉR István: Katonai vezetés és szervezéselmélet, Budapest, ZMNE, 2000
[6] DUPUY, T. N.: A genius for war - The German army and general staft 1807-1945 Fairfax, Virginia, 1977.
[7] VON CREVELD, Martin: Fighting power - German and US army performance 1939-1945 Westport 1982.
[8] Lord Michael CARVER: Dilemmas of the desert war, London, 1996.
[9] FM 100-5pp 341
[10] WERTH Henrik tábornok: Felső vezetés, előadás kézirata
[11] WERTH Henrik tábornok: A kezdeményezés és a kezdés azonos fogalom-e? előadás kézirata
[12] Harcászat. Szerzői munkaközösség: második kiadás, Zrínyi Katonai Kiadó,
[13] LIPPAI Péter alezredes: A küldetésorientált vezetéselmélet és az önkéntes haderő. Seregszemle, VII.évfolyam 2.szám
[14] SZOMBATHELYI Ferenc vezérezredes:Utasítás a hadiakadémia számára, 6933. Szám/Vkf. Szgd. 1942.
[15] FARKAS Imre – NOVÁK Gábor: Új gondolatok, Budapest, ZMNE, 1998
[16] FARKAS Imre – NOVÁK Gábor: Gondolatok a parancsnoki és törzsmunka jövőjéről, Budapest, ZMNE, 1997
[17] DR. CZUPRÁK Ottó alezredes: Nincs legjobb út, Új honvédségi szemle, Különszám 2002

Fekete Csaba - Dr. Palik Mátyás

A FUTÓPÁLYASÉRTÉSEK KIALAKULÁSÁNAK OKAI

BEVEZETÉS

A légiközlekedésben érintett valamennyi nemzetközi és nemzeti szervezet kiemelt helyen foglalkozik a – már jelentős számú katasztrófához vezető – futópályasértések vizsgálatával, az oda vezető okok feltárásával, szükséges eljárásbeli és technikai feltételek kialakításával, melyekkel csökkenthetők a bekövetkezések elkerülésének valószínűsége. Kijelenthető, hogy nem új keletű problémáról van szó, a folyamatosan növekvő légi forgalommal párhuzamosan megnövekedtek a futópályasértések száma is.

A futópálya-műveletek szerves részét képezik a légiközlekedésnek, az ezekkel járó veszélyeket és kockázatokat kezelni kell annak érdekében, hogy a futópályasértések ne vezethessenek végzetes balesetekhez.

E cikk célja, hogy bemutassa a futópályasértések kialakulásának okait, ismertetést nyújtson az ebben résztvevő szereplők által elkövetett leggyakoribb hibákra, mindezeken túl összegzett javaslatokat nyújtson a futópályasértések elkerülésére.

FUTÓPÁLYASÉRTÉS - RUNWAY INCURSION

Az ICAO[1] megfogalmazása szerint a futópályasértés nem más, mint:

„A repülőtéren a légi járművek le- és felszállására kijelölt, védett területen belül légi jármű, jármű vagy személy szabálytalan jelenléte.”[2]

Ebbe a fogalomba bele kell, hogy értsünk minden olyan esemény egy repülőtéren, mely során:

- légi jármű;
- jármű;
- személy;
- vagy objektum ütközésveszélyt hoz létre, vagy veszélyezteti a biztonságos elkülönítést egy felszálló/felszállni szándékozó vagy egy leszálló/leszállni szándékozó légijárművel szemben.

Számos állam és nemzetközi szervezet kezdeményezett széleskörű programokat a futópályasértések megelőzésére. Ezen szervezetek kimutatásai szerint jelentős mennyiségű tényező

[1] International Civil Aviation Organisation - Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet
[2] ICAO, Doc 9870: Manual on the Prevention of Runway Incursions, First Edition — 2007 p. 9.

felelős a futópályasértések folyamatos növekedéséért, beleértve a forgalom mennyiségét, a repülőtér befogadó képességét növelő eljárásokat és a repülőtér felépítését.

A felmérések szerint a következő okok játsszák a legjelentősebb szerepet a futópályasértések kialakulásában:

a. A forgalom növekedésével a futópályasértések valószínűsége jobban növekszik, ha kapacitásnövelő-eljárásokat alkalmazunk, mint ezek nélkül.
b. Amennyiben a forgalom mennyisége változatlan, a futópályasértések lehetősége növekedni fog a kapacitásnövelő-eljárások bevezetésével.
c. Számos repülőtér fejlesztési projekt bonyolultabb repülőtér szerkezetet eredményez(ett), mely a nem megfelelő repülőtér tervezési és fénytechnikai szabványokkal, jelekkel-jelzésekkel, hiányzó szabvány gurulási eljárások kijelölésével és a bonyolult repülőtéri térképek kiadásával tovább rontották a biztonságot.
d. A környezetvédelmi előírások növekvő száma veszélyeztetheti a biztonságos légiforgalmi eljárásokat az ezekben elvárt nagymértékű változtatások miatt.

A fenti tényezők kiegészítve a nem megfelelő képzettséggel, az alacsony infrastruktúrával, a nem megfelelő légiforgalmi irányítói létesítményekkel a futópályasértések valószínűségének növekedéséhez vezetnek.

A futópályasértések kiváltó tényezői

A futópályasértések leggyakoribb szereplői általában a légijármű vezetők, a repülőtér munkaterületén[3] üzemelő különböző járművek vezetői, valamint a légiforgalmi irányítók. Az operatív személyek körében végrehajtott felmérés alapján a légiforgalmi irányítók 20%-a, a gépjárművezetők 30%-a és a pilóták közel 50%-a számolt be arról, hogy volt már résztvevője futópályasértésnek.

1. ábra A futópályasértésekben résztvevők aránya[4]

[3] Manoeuvring area: „Egy repülőtérnek a légijárművek fel- és leszállására, valamint gurulására használandó része, az előterek kivételével.”, ICAO ANNEX11 Air Traffic Services – Légiforgalmi szolgálatok 13 ed. – 2001. július 44., p. 22.
[4] Forrás:

Mindezek miatt – a megelőzés szempontjából– igen fontos a szükség együttműködés megléte, valamint egymás eljárásainak kölcsönös ismerete.

A futópályasértések több tényező összegződésének hatására jönnek létre. Az ilyen események elemzését úgynevezett SHEL (néha SHELL) modellen lehet végrehajtani. Fontos megjegyezni, hogy a Shell-modell nem elszigetelten vizsgálja az egyes összetevők viselkedését, hanem interakcióban elemzi azokat.

2. ábra A Shell modell

A SHEL modell összetevő

- **S (SOFTWARE)** repülési eljárásokat tartalmazó kézikönyvek, kiadványok, minden írott és íratlan szabály
- **H (HARDWARE)** a légijárműveket, rádiókat, jeleket, kijelzőket tartalmazó fogalomkör
- **E (ENVIROMENT)** a repülőteret, pilótafülkét, légiforgalmi irányító munkahelyet, gépjármű utasterét, a munkahelyi feltételeket magába foglaló munkakörnyezet.
- **L (LIFEWARE)** A rendszer egyik legkiszámíthatatlanabb eleme, maga az ember, a saját pszichés és pszichofizikai jellemzőivel, aki a modell középpontjában áll, kapcsolatot teremtve a modell többi szereplőjével, és más emberekkel is.
- **m** a minőségért elkötelezett **menedzsment**. Esetünkben nem beszélünk másról, mint a futópályasértések csökkentése céljából összefogó államok, szervek, szervezetek, csoportok összességéről. A Japán haditengerészet külön foglalkozik a menedzsment szerepével (m-SHEL néven) a rendszerek és az operátorok együttműködésének értékelésekor.

A SHEL modellből következik, hogy az ember és munkakörnyezetének vizsgálata nem csupán a dolgozót, jelen esetben a légiforgalmi irányítót, pilótát, gépjármű vezetőt körülvevő fizikai környezeti tényezőket jelenti, hanem a munkavégzés során használt eszközöket, berendezéseket, továbbá a repülés szervezésének módszerét, függetlenül a földrajzi helyzettől. Tehát amikor a repülésben elkövethető hibák kockázatait mérlegeljük, akkor fontos azt leszögeznünk, hogy a repülésben résztvevő alannyal szemben milyen követelményeket támaszt az adott pozíció, és a személy ezeknek a

követelményeknek mennyire felel meg. Ezek a tényezők alapvetően befolyásoló erővel hatnak az adott rendszer hibalehetőségeire.

A futópályasértéseket számos visszatérő eseménytípusra oszthatjuk. A leggyakoribb esetek a következők:

- Jármű vagy légijármű keresztezi a kifutópályát egy leszálló légijármű előtt;
- Jármű vagy légijármű keresztezi a kifutópályát egy felszálló légijármű előtt;
- Jármű, vagy légijármű keresztezi a felfestett futópálya várópontot;
- Jármű vagy légijármű bizonytalan a pozíciójában, és véletlenül felhajt az aktív kifutópályára;
- A kommunikáció megszakadása miatt lehetetlen végrehajtani a légiforgalmi irányítás utasításait;
- A kifutópályára leszállt, de azt még nem szabadító légijármű mögött légijármű halad el.

A futópályasértés alapvető kiváltó okai között szerepel a nem megfelelő rádióforgalmazás, mely magában foglalja a:

- nem szabályos rádiólevelezés használatát;
- a légiforgalmi irányító által kiadott engedélynek a járművezető/légijármű vezető által történő helytelen visszaolvasását;
- az irányítói engedély járművezető/pilóta általi félreértését;
- más légijárműnek kiadott engedély nyugtázását a vezető/pilóta által;
- közlemények „egybeadását”, a részben szakadozott adást; valamint a
- túl hosszú és bonyolult engedélyeket.

A pilóta, mint rizikófaktor

A pilóta, mint az egyik humánfaktor a légiforgalmi irányítói engedélyek be nem tartásával okozhat futópályasértést. Leggyakrabban ezek az esetek a kétoldalú rádiókapcsolat meghibásodásából, vagy a légi/helyzetkép elvesztéséből keletkeznek, ami azt jelenti, hogy a pilóta máshol van, mint hiszi a repülőtéren (egzakt gurulóút, vagy várópont), vagy azt hiszi, hogy engedélyt kapott felgurulni a kifutópályára, holott az engedély nem azt az utasítást tartalmazta. Az esetek nagy többségében jelentős szerepet kap a más légijárműnek kiadott engedély visszanyugtázása is.

A hajózó személyzet részéről egyéb futópályasértést okozó tényezők:

- nem megfelelő jelek és jelzések (részben a várópont jelölések nem megfelelő láthatósága);
- leszálló, kiguruló légijármű utasítást kap az irányítástól (ilyenkor nagyon a pilóta leterheltsége, és személyzet közötti belső kommunikáció is);
- a személyzet kötelező műszerellenőrzéseket hajt végre, amik csökkenthetik a légihelyzetkép felismerését;

- a pilóták bonyolult és/vagy kapacitásnövelő eljárások nyomása alatt állnak, ami kapkodáshoz vezet(het);
- bonyolult repülőtér kialakítás, ahol felszállópályákat kell keresztezni;
- hiányos, nem szabványos vagy elavult információk a várható guruló utakról;
- az irányító által az utolsó pillanatban közölt változások a gurulásban, vagy az indulási eljárásban.

Légiforgalmi irányító tényezők

A légiforgalmi irányítók a kiváltó okok humán részéhez tartoznak. Ezeken a munkahelyeken folyamatos a fokozott terhelés, és az állandó megosztott figyelem. A hibák minimalizálását az irányító állomány pihentetésével próbálják megoldani. Nagyon fontos ilyen esetekben vizsgálni az irányító gyakorlatát is.

A leggyakoribb irányító specifikus okok a következők:

a. az irányító egy pillanatra elfelejtkezik:
   - egy légi járműről;
   - a futópálya lezárásáról;
   - egy járműről a pályán;
   - egy engedélyről, amit kiadott;
b. hiba a szükséges elkülönítés időbeni felismerésében, vagy nem megfelelő elkülönítés biztosítása;
c. nem megfelelő koordináció a különféle irányító pozíció között;
d. a pályakeresztezést a gurító irányító adja ki a repülőtéri irányító helyett;
e. légijármű vagy légijármű helyzetének téves azonosítása;
f. az irányító nem helyesen olvassa vissza a más irányítótól kapott engedélyt;
g. az irányító nem győződi meg róla, hogy a pilóta vagy járművezető helyesen olvassa vissza a kiadott engedélyt;
h. távközlési hibák;
i. bonyolult, vagy hosszú engedélyek és utasítások kiadása;
j. nem szabványos rádiólevelezés;
k. növekvő reakcióidő a munkahelyi képzés miatt (pozícióban ül a gyakornok).

A fenti okok a futópályasértéssel közvetlen kapcsolatban lévő kiváltó okok, de léteznek egyéb általános befolyásoló tényezők is, mint például a

- zavarodottság;
- munkahelyi leterheltség;
- tapasztalati szint;
- nem megfelelő, hiányos képzés;
- nem megfelelő kilátás az irányító toronyból;

- szoros ember-gép kapcsolat;
- téves, vagy nem megfelelő átadás/átvétel az irányítók között.

A munkaterületen mozgó járművek, mint okok

Mint minden nagy kiterjedésű területen, így egy repülőtér területén belül is szükség van különböző rendeltetésű járművekre. Mindenki számára egyértelmű e járművek jelenléte és mozgása a munkaterületen. E gépjárművekhez között megtaláljuk a levegő, az oxigén és az üzemanyagtöltő gépjárműveket, a felvezető, vagy közismertebb néven „FOLLOW ME" autókat, a földi indító áramforások járműveit, a különböző vontatókat, a helyi kényszerhelyzeti szolgálatok, a mentők, a tűzoltó és a biztonsági szolgálatok gépjárműveit. Ide tartoznak az utasokat, illetve azok poggyászait szállító eszközök, buszok, az utasok és a személyzet étel és ital ellátását szállító járművek. Jelentős forgalmat jelentenek a repülőtér üzemeltetését biztosító különböző szolgálatok, mint például az ATC[5], az FSO[6] és a DAM[7] járművei is. Nagy forgalmat és egyben kiemelt veszélyforrást jelentenek az építkezésekben, a felújításokban, korszerűsítésekben résztvevő földmunkagépek, daruk, betonszállító gépjárművek is. A valóság ennél kicsit összetettebb. A munkaterületen mozgó járművek vezetőinek speciális vizsgát kell tenniük a repülőtér és a rádióforgalmazás ismeretéből. A földi mozgás természetesen a gurító irányító felelőssége, ezért a repülőtér munkaterületére való belépés feltétele a kétoldalú rádiókapcsolat a járművezető és az irányító között. Ezzel egy minimális biztonsági szintet elérhetünk a repülőtér területén. A repülőtér munkaterületét nem ismerő járművek számára pedig kísérő biztosítása ajánlott. Mindezek által nem zárhatóak ki a leggyakoribb járművezetőkhöz kapcsolódó futópályasértést okozó jelenségek:

- engedély nélküli felhajtás a kifutópályára;
- irányítói engedélyek figyelmen kívül hagyása, be nem tartása;
- hibás helyzetjelentés az irányítás felé;
- távközlési problémák;
- nem megfelelő képzés a munkaterületen történő munkavégzéshez;
- mozgás a repülőtér munkaterületén rádió nélkül;
- a járművezetők nem ismerik a szabvány rádiólevelezés szabályait;
- a repülőtér ismeretének hiánya;
- a repülőtér jeleinek, jelzéseinek nem ismerete;
- nincs repülőtéri tájékozódási térkép a gépjárműben.

Repülőtér konstrukciós okok

[5] Air Traffic Control – Légiforgalmi Szolgálatok
[6] Flight Safeti Officer – Repülésbiztonsági Tiszt
[7] Duty Airside Manager –

A repülőterek tervezése, építése bonyolult, drága és nagy körültekintést igénylő művelet. A légiforgalom növekedése mégis a repülőtér áttervezéséhez, új gurulóutak és előterek építéséhez vezethet. A bonyolult, vagy nem megfelelő repülőtér felépítés jelentősen megnöveli egy futópályasértés valószínűségét. A futópályasértések gyakoriságának vizsgálatakor számos tanulmány kimutatta, hogy az összefüggésben van a pályakeresztezések számával és a repülőtér felépítésével.

Egyéb általános okok

A repülőtér összetettsége, beleértve a kifutópályával szomszédos utakat, gurulóutakat;

- párhuzamos kifutópályák közötti elégtelen távolság;
- indulási gurulóutak, melyek nem derékszögben metszik egymást a kifutópályával;
- nincs alternatív gurulóút a pályakeresztezés elkerülésére.
-

Esemény (incident) - A légijármű üzemelésével kapcsolatos nem balesetnek minősülő eset, amely a biztonságos üzemelést hátrányosan befolyásolja, vagy befolyásolhatja.

A futópályasértések osztályozása

A futópályasértéseket az ICAO az alábbi csoportokra bontja:

„A” A súlyos incidens alig kerülhető el

„B” Egy esemény, amikor az elkülönítés mértéke lecsökken, jelentősen megnő az ütközés veszélye, aminek az eredménye egy időkritikus elkerülő/kikerülő manőver.

Category B

„C” Egy esemény, amikor elegendő idő vagy távolság áll rendelkezésre elkerülni az összeütközést.

Category C

„D” Egy esemény, amely megfelel a futópályasértés definíciójának, azaz a repülőtéren a légi járművek le- és felszállására kijelölt, védett területen belül légi jármű, jármű vagy személy szabálytalan jelenlétének, de nem jelent azonnali kockázati tényezőt.

„E” Az elégtelen, pontatlan, egymásnak ellenmondó információk miatt a súlyossági besorolás nem lehetséges.

Hot spotok

Olyan helyek/pontok a repülőtér mozgási területén, ahol már történt futópályasértés vagy nagy valószínűsége van annak, vagy egy összeütközésnek. Ezeket a helyeket fokozott figyelemmel kell megközelíteni. Ezek a hot spotok leggyakrabban a repülőtér felépítéséből keletkeznek. A futópályasértések számának csökkentése érdekében ezeket a pontokat jelölni kell a repülőtéri térképeken és közzé kell tenni az AIP-ben is.

A repülésbiztonsági programoknak közös célja van: csökkenteni a veszélyeket, mérsékelni és megbirkózni a fennálló problémákkal.

BEFEJEZÉS

Az, hogy mennyire nemzetközi jelentőségű a jelzett probléma, mutatja az Európai Unió Gazdasági és Szociális bizottságának véleménye, melyet a „A légi közlekedés biztonsága” tárgyában fogalmazott meg. [13] Ezen ajánlás 11. pontjában felhívja az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség (EASA) figyelmét az UAV-k működésével kapcsolatos szabályozás alapos átgondolására.

A cikk megírásával a szerzők célja az volt, hogy felhívják a figyelmet az a futópályasértésekkel járó, és azok során jelentkező repülésbiztonsági kockázatokra, mivel azok jelenleg még nem teljes körűen megoldottak. Úgy vélem, hogy megfelelő szabályozással, de elsősorban modern technológiákkal és eljárásokkal rövid időn belül megszűnhetnek az említett kockázatok a közös felhasználású légtérben történő működés során.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] ICAO, Doc 9870: Manual on the Prevention of Runway Incursions, First Edition — 2007, ISBN 92-9194-874-8, http://www.icao.int/fsix/_Library%5CRunway%20Incursion%20Manual-final_full_fsix.pdf

[2] EUROCONTROL: ARIA - A Computer Based Aerodrome Runway Incursion Assessment - Quick User Guide, Release 1.0, June 2008, http://www.eurocontrol.int/runwaysafety/gallery/content/public/docs/aria_user_guide.pdf

[3] Mudra István: Futópálya biztonság

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Fövényi Attila

METEOROLÓGIAI ELŐREJELZÉSEK KÉSZÍTÉSE SPORTREPÜLŐK RÉSZÉRE NUMERIKUS MODELLADATOK FELHASZNÁLÁSÁVAL – RÉGI ÉS ÚJ MÓDSZEREK ADAPTÁLÁSA ÉS AUTOMATIZÁLÁSA

Absztrakt: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Repülésmeteorológiai és Veszélyjelző Osztályán rendszeresen készítünk időjárás előrejelzéseket a vitorlázó repülők, a hőlégballonosok és a hullámrepülők részére. Mivel az elmúlt 20 évben a numerikus előrejelző modellek és a számítástechnikai berendezések sokat fejlődtek, ezért lehetőségünk nyílt a korábban használt módszerek továbbfejlesztésére és bizonyos munkafolyamatok automatizálására. Ezeket a fejlesztéseket döntően az ALADIN.HU előrejelző modellre építettük, de lehetőségünk van az ECMWF modell alkalmazására is.

A vitorlázó repülők számára készített termik előrejelzésünk a Szalma János és társai által a 80-as években kidolgozott módszer továbbfejlesztésén alapul, és most már túlnyomórészt a modelladatok szolgáltatják a bemenő adatokat, de néhány változó értékét még mindig a szinoptikus határozza meg. A bemenő adatok alapján a program elkészít egy automatikus előrejelzést a szélre, a hőmérsékletre, a látástávolságra, a termik indulására, a termik végére, a termik erősségére, és a nulla fok magasságára vonatkozóan, amit azonban a repülésmeteorológusnak lehetősége van módosítani, illetve szöveges előrejelzéssel és veszélyjelzéssel kiegészíteni. Ezeket az előrejelzéseket 1995 óta folyamatosan verifikáljuk.

Kutatásaink alapján sikerült meghatározni azokat a paramétereket, amelyekkel viszonylag jól előre lehet jelezni a Börzsöny és a Mátra térségében kialakuló lee-hullámokat. Ezeket a paramétereket automatikusan állítjuk elő a modelladatokból, és egy szöveges előrejelzéssel egészíti ki a szinoptikus.

A hőlégballonosoknak készülő szél és nulla fok magassága előrejelzéseket szintén automatizáltuk, de azt az előrejelző egy időjárási tájékoztatóval és a hőlégballonosokra veszélyes elemekről szóló ismertetővel egészíti ki.

A sportrepülők számára készített előrejelzések előfizetés után az Internetről letölthetők.

TERMIK ELŐREJELZÉSEK KÉSZÍTÉSE AZ OMSZ REPÜLÉSMETEOROLÓGIAI OSZTÁLYÁN

Az Országos Meteorológiai Szolgálat Repülésmeteorológiai Osztályán a nyári időszakban (április-szeptember) rendszeresen készítünk termik előrejelzéseket. Ezeket az előrejelzéseket a vitorlázó repülők, a motor nélküli sárkányrepülők és a siklóernyősök használják fel. Természetesen ezeknek

különböző igényeik vannak, a siklóernyősöknek és a sárkányrepülőknek sokkal nagyobb szükségük van a pontos szélelőrejelzésekre, mint a vitorlázó repülőknek. A következőkben ennek az előrejelzésnek a készítését mutatjuk be, és illusztráljuk egy példával.

Napos időben a különböző tulajdonságú felszínek különböző mértékben melegítik fel a talajközeli légréteget. Amennyiben ez a légréteg valahol eléggé felmelegszik ahhoz, hogy abszolút instabillá váljon, akkor a talaj közeléből száraz adiabatikus hűléssel felemelkedik. Amennyiben a hőtöbblete nem elég ahhoz, hogy az emelkedő levegő elérje az emelési kondenzációs szintet, akkor száraz termikről beszélünk, amennyiben elég, akkor az emelési kondenzációs szint magasságában gomolyfelhő (Cumulus) jelenik meg. Ezt nevezzük a repülésmeteorológiában termiknek, vagy gomolyos termiknek. A repülésmeteorológiában a termiket repülhető termiknek nevezzük, ha az emelkedő levegő képes elérni legalább az 1000-1200 méteres magasságot.

A sportrepülés szempontjából két típusú termik létezik, az egyik a buborék (bubble), a másik a kémény (chimney) termik. Az első jellemzője, hogy az emelkedő levegőben az emelés nem állandó, turbulens jellegű. Ez olyankor fordul elő, ha a talajközeli levegő hőmérséklete közel van a termik indulási hőmérsékletéhez, vagy 1500-2000 m magasan egy inverziós vagy stabil réteg gátolja az emelkedő levegő mozgását, vagy, ha az erős szél miatt oldalirányból hidegebb levegő áramlik be az emelkedő levegőbe. Az ilyen típusú termik élettartama általában csak 5-20 perc. A kémény típusú termikben az emelés egyenletes, a termik középpontja felé haladva egyre erősödik. Ez olyankor alakul ki, ha a talajközeli hőmérséklet jóval meghaladja a termik indulási hőmérsékletét, ha a talaj közelében oldalról beáramló hűvösebb levegő gyorsan átmelegszik a felszín felett, valamint, ha se szél, se inverzió nem akadályozza a feláramló levegő mozgását. Az ilyen termik élettartama általában 15-30 perc, de a hegyek déli lejtőin akár 30-50 perc is lehet, sőt az olasz Alpokban, a Dinári hegységben és a trópusi szigetek fölött, kisebb áthelyeződésekkel gyakorlatilag egész nap egy helyben maradhatnak a termikek. A fenti élettartam értékekhez hozzá kell tenni, hogy a sportrepülés szempontjából hasznosítható élettartam a fenti értékeknél 20-40 %-kal rövidebb. A fentieken kívül még létezik az úgynevezett felhőút termik, amelyben megfelelő áramlási viszonyok esetén a kialakuló termikek vonalba rendeződnek.

A termik erősségét három fajta módon adják meg a különböző szolgálatok. Az egyik esetben csak azt adják meg, hogy a termikek gyengék, közepesek, vagy erősek lesznek-e. Ilyen tájékoztatást ad például a UKMO (Egyesült Királyság Meteorológiai Szolgálata). A másik esetben a meteorológiailag lehetséges emelés értékét adják meg m/s-ban. Ilyen előrejelzést elsősorban jó minőségű mezoléptékű modellel rendelkező országokban (például Németországban) készítenek. Ennek az előrejelzésnek a hátránya annyi, hogy a gépek nem tudják kihasználni a teljes lehetséges emelést, hanem annak csak egy részét. Azonban abban az esetben, ha tudjuk, hogy hány százalékát tudja a gép ennek hasznosítani, akkor megkapjuk a tényleges emelés értékét. Bár nem mezoléptékű modellel, hanem gyakorlati tapasztalatok alapján, de mi ezt a tényleges emelést próbáljuk meg előre jelezni. Előrejelzéseink a Ferihegyi Repülésmeteorológiai Központban az 1970-es, 1980-as években Pirate és Jantar típusú

vitorlázó gépeken végzett kutatásokon alapulnak. Az előrejelzésekhez viszont jelentős mértékben felhasználjuk a meteorológiában azóta bekövetkezett fejlesztéseket (modell adatok), saját kutatásainkat (hőmérséklet és sugárzás előrejelzés), valamint a 70-es években még nem létező, de azóta elterjedt személyi számítógépet. Ennek köszönhető, hogy 30-60 perc alatt (szinoptikustól és időjárási helyzettől függően), az egész országra kiterjedő termik előrejelzést készíthetünk.

Az előrejelzések készítéséhez 10 db rádiószondás állomás (Bécs, Graz, Prostejov, Poprád, Zágráb, Belgrád, Budapest, Szeged, Ungvár, Kolozsvár) éjfélkor észlelt adatait, 6 SYNOP állomás (Baja, Békéscsaba, Budapest, Győr, Nagykanizsa, Nyíregyháza) 4 UTC-s hőmérsékleti és harmatpont értékeit, az összes észlelővel ellátott magyar SYNOP állomás 5 és 6 UTC-s látás és felhőzeti észleléseit, valamint az ALADIN.HU mezoléptékű modell különböző előrejelzéseit használjuk fel.

Az éjféli felszállásokból töréspontok közötti, valamint az inverziós könyök és 2000 m közötti átlagos gradienst, a termik indulási hőmérsékletét, valamint a 4 UTC-s SYNOP adatokkal korrigált emelési kondenzációs szintet és a Cumulus kiváltó hőmérsékletet határozzuk meg. Az ezek kiszámításához használt képletek és állandók a következők:

A töréspontok közötti magasságkülönbség

$$H_2 - H_1 \cong \frac{R \cdot (T_2 + T_1)}{2 \cdot g} \cdot \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

$$g = 9.78529472 \frac{m}{s^2} \tag{1}$$

$$R = 286.8 \frac{J}{kg \cdot K}$$

Az izogramm gradiense

$$\Gamma_i = -0.16541 \frac{\mathrm{K}}{100\mathrm{m}} \tag{2}$$

A száraz adiabatikus gradiens

$$\Gamma_a = -0.974 \frac{K}{100m} \tag{3}$$

Mint látható a magasság számításánál nem vettük figyelembe a nedvesség adatokat. Ezt azért csináltuk így, mert egyrészt Ungvárról nem érkeznek ilyen adatok, másrészt a nyomás értékeket 0.5 hPa pontossággal kapjuk meg, amely eleve ±4-6 méteres hibát hordoz magában töréspontonként az alsó 3000 méteres rétegben. 0.05 hPa pontosságú adatokkal tesztelve (a tényleges budapesti mérési adatokkal, nem a TEMP távirattal) az átlagos hiba +4 méter körül van a 700 hPa-os magasságig számolva, míg a repülésben használt legkisebb magasságkülönbség 100 láb (30.41 m). Az emelési

kondenzációs szint meghatározásához használt állandó izogramm is -5, -10 méter körüli hibát eredményez, tehát ez is megfelelő pontosságú.

Az ALADIN.HU modell 10 magyar városra előre jelzett pszeudó tempekből meghatározzuk a 06 és 12 UTC-re vonatkozó 0 fokos szint magasságát, a talajra, 500, 1000, 1500 és 2000 m-re vonatkozó szél erősséget és szélirányokat, valamint a 800 és 4000 m közötti szintre előre jelzett stabil, vagy inverziós réteg alapját. Tapasztalataink szerint a szélirány és a 0 fokos szint magasságának az előrejelzése elég pontos, a szélerősséget általában alulbecsli a modell, míg az 1000-2000 m között fellépő inverziókat a vártnál kevésbé képes jól előre jelezni a modell, bár az utóbbi években jelentősen javultak az inverziós réteg előrejelzések. Ez utóbbi adatokat időnként a rádiószondás állomások adatai alapján korrigáljuk.

A modell adataiból a 850 hPa-on bekövetkező advekciót, a harmatpont és labilitási értékeket, a 300 km sugarú körre vonatkozó $\nabla^2 P$ (a nyomás Laplace-a) értékeket, valamint a talajra, 500, 1000, 1500, 2000 m-re vonatkozó szélirányt és erősséget is előre jelezzük.

A fenti számításokat hat magyar városra (Baja, Békéscsaba, Budapest, Győr, Nagykanizsa, Nyíregyháza) végezzük el. A termik erősségének meghatározásához a következő paramétereket használjuk fel.

Átlagos emelés (m/s)	0.2	0.3-1.3	1.3-1.8	1.8-2.3	2.3-2.8
Maximális emelés (m/s)	0.3	0.7–1.7	1.75–2.25	2.3–2.8	2.85–3.35
1. 15 UTC-ig beérkező globálsugárzás (J/cm^2)	<700	700-1300	1300-1600	1600-2000	>2000
2. Látástávolság (km)	<=5	5–10	10–15	15–20	>20
3. Talajállapot (párolgási hő)		1–4. kategória	5–8. kategória	9–10. kategória	11–13. kategória
4. Átlagos gradiens (°C/100m)	>–0.4	-0.40,-0.45	-0.45,-0.55	-0.55,-0.65	<-0.65
5. Termik indulása (UTC)		>11	10–11	9–10	<9
6. Harmatpont (°C)		>15	12.5–15	10–12.5	<10
7. $D_{850}+D_{700}$ (°C)	<5	5–8	8–10	>14	10–14
8. A kondenzációs szint (m)	<700	700-1200	1200-1400	1400-1800	>1800
9. Advekció 850 hPa-on (°C/12h)	> +6	+6 – +3	+3 – +1	+1 – -1 < -3	-1 – -3
10. ∇^2(P) (10^{-5} hPa/km^2)		<-10 >+10	-10–-7 +6–+10	-7–-3 +2–+6	-3–+2
11. Szinoptikus helyzet		1-6. kategória	7-10. kategória	11-13. kategória	14-15. kategória

1. táblázat A termik program által használt döntési táblázat

A program által használt változók közül a talajállapotot (3.) és a szinoptikus helyzetet (11.) a szinoptikus határozza meg, a többi adat a modellből származik.

Talajállapot kategóriák:

1. Belvizes terület	2. Vizes, sűrű erdő	3. Vizes, ritka erdő
4. Vizes puszta	5. Nedves, sűrű erdő	6. Nedves, ritka erdő
7. Nedves puszta	8. Nedves homok	9. Száraz, sűrű erdő
10. Száraz, ritka erdő	11. Száraz puszta	12. Száraz homok
13. Aszályos terület		

A 13 talajállapot kategóriából a leggyengébb a belvizes terület, mivel ekkor a beérkező sugárzás zöme a párologtatásra fordítódik, míg a legerősebb az aszályos terület és a száraz homok, mivel ilyenkor a sugárzás nagy része a levegő melegítését szolgálja. A talajfelszín nedvességtartalmát általában az INDA rendszer 110 mérőállomásának elmúlt 72 órás csapadékmennyiségei alapján határozza meg a szinoptikus. Természetesen a 13 kategória nem fedi le a létező összes talajállapotot, de a szinoptikus a leggyengébb és a legerősebb kategória közül be tudja lőni, hogy az éppen aktuális helyzet mennyire kedvez a termikképződésnek (a program az 1-es és 13-as kategória között lineárisan interpolál).

Szinoptikus helyzetek:

1. Lassan mozgó frontálzóna	2. Ciklоncentrum, vagy mediterrán hidegfront
3. Erős melegszektor	4. Ciklon előoldal délies széllel
5. Magassági hidegcsepp	6. Öreg anticiklon, vagy anticiklon hátoldal
7. Anticiklon déli pereme	8. Jellegtelen bárikus mező
9. Középkorú anticiklon	10. Frontmentes nyugatias áramlás
11. Köztes anticiklon	12. Anticiklon előoldal
13. Fiatal anticiklon	14. Gyors hidegfront, vagy nedves hátoldal
15. Ciklon hátoldal (száraz)	

A 15 szinoptikus helyzet kategória közül a leggyengébb a ciklon centrum, illetve hullámzó frontálzóna az ország felett, amelyet borult, csapadékos idő jellemez, míg a legerősebb a ciklon hátoldal, illetve anticiklon előoldal, amelyben mérsékelt széllel hűvös és nem túl nedves levegő érkezik az ország fölé. Természetesen a 15 kategória nem fedi le a létező összes szinoptikus helyzetet, de a szinoptikus a leggyengébb és a legerősebb kategória közül be tudja lőni, hogy az éppen aktuális helyzet mennyire kedvez a termikképződésnek (a program az 1-es és 15-ös kategória között lineárisan interpolál).

A harmatpontot, a depresszió összeget, az emelési kondenzációs szintet, az advekció erősségét, a Laplace értéket, és az átlagos gradienst a program különböző algoritmusok segítségével automatikusan számolja a SYNOP, TEMP és az ALADIN.HU modell adataiból.

A program megadja a modelladatokból speciális algoritmussal számolt 12 UTC-re várható látástávolságot, de a szinoptikus módosíthat ezen.

A program több különböző algoritmus segítségével kiszámolja a lehetséges maximális, minimális, átlagos és az algoritmus által várt globál sugárzást a maximálisan lehetséges sugárzás százalékában, és a szinoptikusnak ez alapján kell megadnia, hogy a beérkező sugárzás hány százaléka lesz a

lehetségesnek. Magyarán az előrejelző dönthet arról, hogy módosít-e a program által várt sugárzás érteken, és ezt a megadott maximális és minimális érték között felfelé vagy lefelé változtathatja.

Ezt a sugárzási értéket, valamint a TEMP adatokból számolt 850/1000-es relatív topográfia értéket és a modelladatokból számolt 850 hPa-os advekciót felhasználva a program automatikusan kiszámolja a maximum hőmérsékletet és a termik indulásának időpontját a 6 városra. A fenti paraméterek alapján kiszámolt emelés értéke a Pirate és Jantar típusú vitorlázó gépekre vonatkozik. A Góbé típusú gépek ennél kevésbé képesek emelkedni, míg a Nimbus típusú gépek ennél jobban. Az eltérés meglehetősen erősen függ az adott géptípus siklószámától. A sárkányrepülők körülbelül ugyanilyen emeléseket, míg a siklóernyősök gyenge szélben ennél lényegesen erősebb, erős szélben ennél gyengébb emelést észlelnek. A siklóernyősöknél észlelt jelenség azzal magyarázható, hogy gyenge szélben gyakorlatilag a termik középpontjában tudnak emelkedni a kis fordulási sugaruk miatt, míg erre a sárkányrepülők és a vitorlázó gépek nem képesek. Erős szélben azonban nem tudnak a termik közepében maradni a navigálási nehézségek miatt a siklóernyősök.

A program a kiszámolt adatokat MS-DOS text fájl formátumban is lementi, amelyeket a WinWord szövegszerkesztő már le tud kezelni. A program által kiszámolt értékeket az előrejelző szakember természetesen felülbírálhatja. Erre szükség is van, mert gyakorlati tapasztalat, hogy a maximum hőmérsékletet a szinoptikus általában (de nem mindig) jobban jelzi előre, mint a modellek, illetve az arra épülő számítógépes algoritmusunk, és az emelést jelentősen gyengítheti az erős szél, vagy az 1500-2000 m magasan lévő inverzió, amelyet a program nem vesz figyelembe.

Ezek után a szinoptikus meghatározza a még hiányzó adatokat.

Ha a termik indulási hőmérséklete és a Cu kiváltó hőmérséklet közel van egymáshoz (vagyis a kondenzációs szint 1000 m körül van), akkor már a termik indulásakor is lesz gomolyfelhőzet. Különben induláskor csak száraz termik lesz. Amennyiben a hőmérséklet délután sem éri el a Cu kiváltó hőmérsékletet, akkor délután is száraz termikek várhatók, amennyiben a hőmérséklet eléri ezt, akkor a levegő nedvességének függvényében meghatározható a gomolyfelhők mennyisége. A középmagas és magas szintű felhők mennyiségét szintén ennek alapján lehet meghatározni. A felhőzet mennyiségének előrejelzéséhez természetesen megnézzük a modellek által különböző szintekre előre jelzett felhőfedettségi értékeket, de ezek sok esetben hibásak, az alacsony szintű felhőzetet (Cu, Sc) alulbecslik, míg a magas szintű felhőzetet (Ci, Cs) felülbecslik.

A délutáni órákra várható gomolyfelhő alapokat az előre jelzett maximum hőmérséklet alapján gyakorlati tapasztalattal, illetve az ALADIN.HU modellből számolt kondenzációs szint figyelembe vételével lehet meghatározni. Jelenlegi tapasztalataink alapján a gyakorlati módszerrel előre jelzett Cu alapok valamivel pontosabbak, mint a modell adatok.

A különböző modellekből előre jelzett labilitási indexek és egyéb paraméterek (örvényességi advekció, szélnyírás, konvergencia, stb.) alapján eldönthető, hogy az ország melyik részén lehet zivatarfelhő (Cb), illetve zápor, zivatar kialakulására számítani.

A modellek adatai alapján az is eldönthető, hogy milyen speciális, illetve a sportrepülés számára veszélyes jelenségek kialakulása lehetséges. A speciális jelenségek közé tartozik a hideg, illetve meleg advekció, a Cu, vagy Ac felhőzet összeállása és a stabil réteg megléte vagy kialakulása. A veszélyes jelenségek közé tartozik a Cb felhőzet, a zivatar, a jégeső és a 12 m/s feletti széllökés.

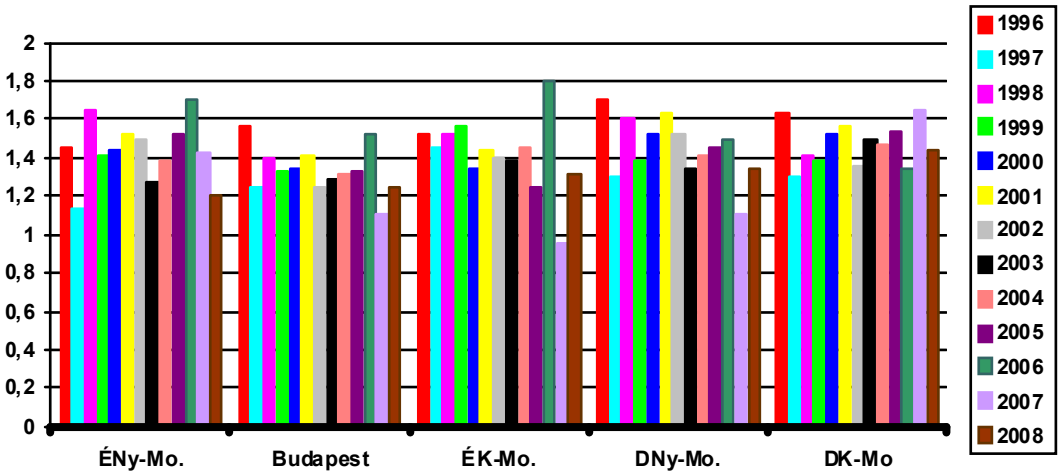
Az elkészített előrejelzést az OMSz számítógépes hálózatán keresztül az OMSz FTP szerverére jutatjuk, ahonnan előfizetés után letölthető (1. ábra.).

```
Termik előrejelzés Magyarország területére

Érvényes:2008.07.13.

Szinoptikus helyzet: Az esti, éjszakai órákban egy hidegfront éri el hazánkat. Előtte
erős délnyugati áramlással forró, labilis, de egyelőre még száraz levegő áramlik
fölénk. Keleten csak kevés gomolyfelhő jelenik meg az égen, de a Dunántúlon és az
Északi-középhegység nyugati felén késő délután már zápor, zivatar, estefelé nyugaton
jégeső, instabilitási vonal és viharos szél is lehet.

Figyelmeztetés: Cb, zivatar a Dunántúlon, a Mátrában és a Börzsönyben lehet. 12 mps
feletti széllökés a Dunántúlon és Cb-k körül lehet.

Speciális jelenségek: Keleten zömében csak száraz termikek várhatók.

Távolabbi kilátások: Sokfelé heves zápor, zivatar, jégeső, erős lehűlés, viharos
északi szél.

Készítette: Fövényi Attila

:::A hőmérsékleti gradiensek a 00 UTC-s mérések alapján
::Magasság [m]; Gradiens [ C/100m]

;        Budapest;          Bécs;          Zágráb;          Ungvár;          Szeged
; 139- 218; 6.342; 209- 261; 0.773; 128- 181; 7.233; 118- 401; 0.495;  83- 258; 3.875
; 218- 590; 0.054; 261- 533;-0.515; 181- 497; 0.633; 401- 797;-0.202; 258- 643;-0.260
; 590-2029;-0.847; 533- 560; 3.735; 497-1683;-0.742; 797-1989;-0.654; 643-1707;-0.864
;2029-2285;-0.626; 560- 713;-0.914;1683-3712;-0.922;1989-2991;-0.839;1707-2327;-0.935
;2285-3575;-0.852; 713- 786; 1.369;         ;      ;2991-3999;-0.516;2327-2590;-0.610
;         ;      ; 786-1056;-0.667;         ;      ;         ;      ;2590-3640;-0.648
;         ;      ;1056-1266; 0.760;         ;      ;         ;      ;         ;
;         ;      ;1266-1865;-0.768;         ;      ;         ;      ;         ;
;         ;      ;1865-2031; 0.000;         ;      ;         ;      ;         ;
;         ;      ;2031-2360;-0.972;         ;      ;         ;      ;         ;
;         ;      ;2360-2568; 0.000;         ;      ;         ;      ;         ;
;         ;      ;2568-3489;-0.868;         ;      ;         ;      ;         ;

:::::Termik aktivitás

::A kihasználható termik időtartama [HLT]
;ÉNy-Mo.    ;Budapest   ;ÉK-Mo.     ;DNy-Mo.    ;DK-Mo.
;10.30-17.30;11.00-18.00;11.00-18.00;12.00-18.00;12.00-18.30

::A termik kiváltó hőmérséklet/ a maximum hőmérséklet [ C]
;ÉNy-Mo.    ;Budapest   ;ÉK-Mo.     ;DNy-Mo.    ;DK-Mo.
;25/31-34   ;30-31/35-37;   30/33-35;31-32/34-36;   32/35-38

:::Cu felhő teteje [m]
:::Cu felhő alapja [m]
:::Száraz termik teteje [m]
:::Cu felhő mennyisége

::A délutáni órákban:

;ÉNy-Mo.    ;Budapest   ;ÉK-Mo.     ;DNy-Mo.    ;DK-Mo.
;2500 felett;2500 felett; 2200-2500 ;2500 felett; 2300-2500
; 1900-2200 ; 2000-2300 ; 2000-2300 ; 2000-2300 ; 2200-2500
; xxxx-xxxx ; xxxx-xxxx ; xxxx-xxxx ; xxxx-xxxx ; xxxx-xxxx
; 1-4/8     ; 1-3/8     ; 1-2/8     ; 1-4/8     ; 0-2/8

::Várható emelés a termik indulásakor [m/s]
::A termik jellege
;ÉNy-Mo.    ;Budapest   ;ÉK-Mo.     ;DNy-Mo.    ;DK-Mo.
;   0.0-0.5;    1.0-1.5;    0.6-1.1;    0.9-1.3;    1.2-1.6
;buborék    ;buborék    ;buborék    ;buborék    ;buborék

::Várható átlagos emelés a maximum idején [m/s]
::A termik jellege
;ÉNy-Mo.    ;Budapest   ;ÉK-Mo.     ;DNy-Mo.    ;DK-Mo.
;   1.8-2.3;    2.0-2.5;    2.1-2.6;    2.0-2.4;    2.1-2.6
;     kémény;     kémény;     kémény;     kémény;     kémény

:::::Egyéb időjárási jellemzők

:::A 0 C izoterma magassága [m]
:::A lezáró inverzió vagy stabil réteg alapja [m]

::08071309 UTC
;Győr     ;Budapest;Miskolc ;Pécs     ;Szeged
;     3790;     3750;     3920;     4030;     3970
;      NIL;      NIL;      NIL;      NIL;      NIL

::08071315 UTC
;Győr     ;Budapest;Miskolc ;Pécs     ;Szeged
;     3900;     3910;     3870;     4010;     4200
;      NIL;      NIL;      NIL;      NIL;      NIL

:::Látástávolság [km]

::05 UTC-s észlelés
;ÉNy-Mo.  ;Budapest ;ÉK-Mo.   ;DNy-Mo.  ;DK-Mo.
;20.0-30.0;15.0-25.0;20.0-30.0;20.0-40.0;15.0-30.0

::A 12 UTC-re előrejelzett látás [km]
;ÉNy-Mo. ;Budapest;ÉK-Mo.  ;DNy-Mo. ;DK-Mo.
;32      ;33      ;36      ;35      ;34

:::Egyéb felhőzet

::A délutáni órákra előrejelzett:

;ÉNy-Mo.       ;Budapest      ;ÉK-Mo.        ;DNy-Mo.       ;DK-Mo.
;2-5/8 Ac, Ci  ;0-2/8 Ci      ;0-2/8 Ac, Ci  ;3-6/8 Ac, Ci  ;0-2/8 Ci
;2-5/8 Cu, Cb  ;1-3/8 Cu, Cb  ;xxxx          ;1-5/8 Cu, Cb  ;xxxx

:::::Széladatok

:::A várható szélirány és szélerősség [m/s]

:::2000 m
:::1500 m
:::1000 m
::: 500 m
::: Talaj

::08071309 UTC
;Győr     ;Budapest;Miskolc ;Pécs     ;Szeged
;  175/14;  180/ 9;  195/ 9;  195/ 9;  170/ 9
;  165/12;  170/ 9;  180/ 8;  195/ 7;  170/10
;  160/ 8;  160/ 8;  175/ 7;  190/ 6;  165/11
;  165/ 6;  145/ 6;  165/ 5;  160/ 4;  160/ 9
;  175/ 3;  140/ 4;  150/ 4;  155/ 3;  155/ 6

::08071315 UTC
;Győr     ;Budapest;Miskolc ;Pécs     ;Szeged
;  195/12;  185/10;  195/11;  220/14;  205/10
;  190/11;  185/10;  175/ 9;  210/11;  180/10
;  190/11;  180/ 9;  170/ 8;  195/ 9;  170/10
;  190/ 9;  170/ 8;  160/ 7;  190/ 7;  165/10
;  190/ 6;  160/ 4;  155/ 4;  175/ 4;  160/ 6
```

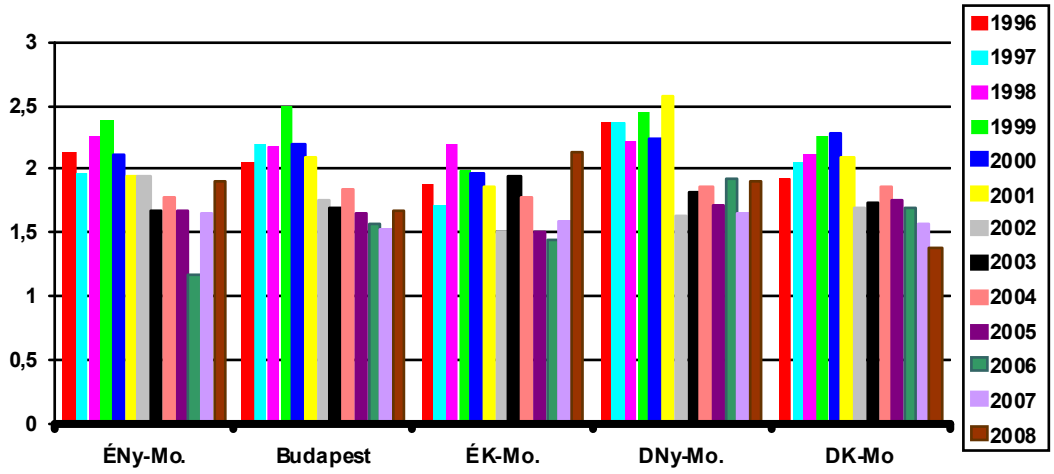
1. ábra. Az FTP szerverre felküldött termik előrejelzés

Természetesen minden előrejelzőt érdekel az, hogy milyen beválású prognózist készített, ezért 1995-ben még csak kézi módszerrel, majd 1996 és 2008 között már számítógéppel minden évben verifikáltuk termik előrejelzéseink meteorológiai elemeinek a beválását (2. ábra, 3. ábra, 4. ábra, 5. ábra, 6. ábra, 7. ábra, 8. ábra, 9. ábra, 10. ábra). A verifikálást kezdetben csak az észlelővel rendelkező állomások megfigyelései alapján végeztük, de mivel ezek száma az utóbbi tizenöt évben drasztikusan csökkent (kb. 30-ról 15-19 re), ezért a csapadék, a Cb felhőzet és a zivatar értékeléséhez a radar és a villám lokalizációs rendszerek adatait is felhasználtuk, míg a hőmérséklet verifikálásához az automata állomások méréseit is figyelembe vettük. A legnagyobb problémát a Cu mennyiségének ellenőrzése jelenti, hiszen ezt csak az észlelők által megfigyelt adatokból tudjuk ellenőrizni, az észlelések száma viszont jelentősen csökkent. A verifikáláshoz hozzá kell tenni, hogy 2007-ben és 2008-ban csak azon a 3 héten készítettünk előrejelzést, amikor olyan verseny volt, akik fizettek érte, ezért nagyobb ezeknek az éveknek a szórása, hiszen a többi évben 6 hónapon át verifikáltuk az előrejelzéseket (6. ábra, 7.

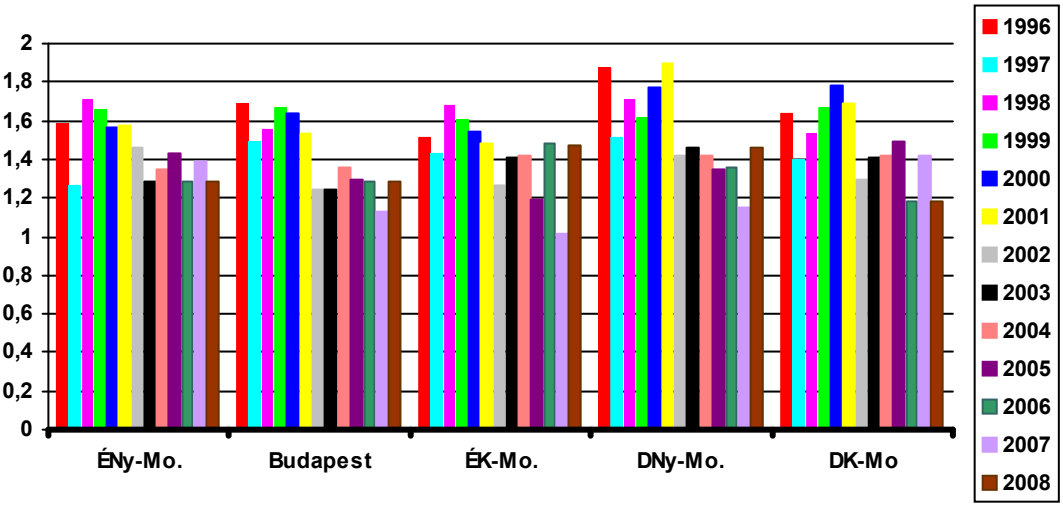
ábra, 8. ábra, 9. ábra, 10. ábra). 2009-ben, talán a gazdasági válság miatt, nem volt megrendelésünk, ezért nem készítettünk termik előrejelzést, de 2010-ben már ismét van megrendelőnk, a Szegeden megrendezésre kerülő vitorlázó repülő világbajnokságot fogjuk kiszolgálni.



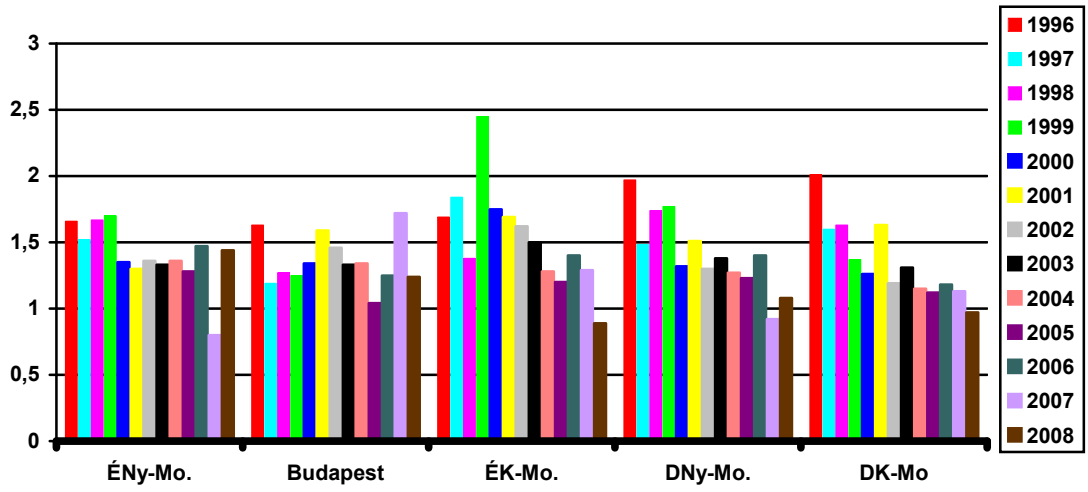
2. ábra. A Cu minimum előrejelzések RMS hibája 1996-2008 (okta)



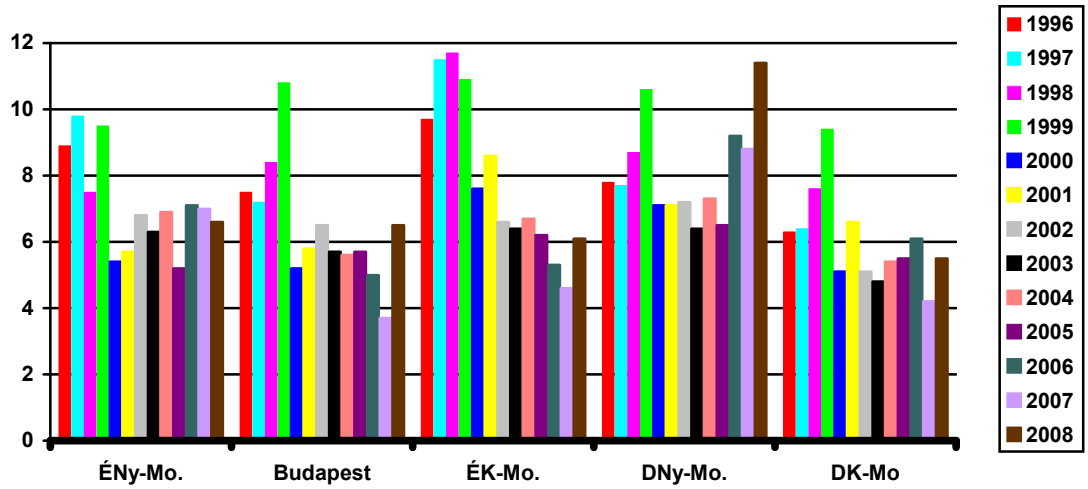
3. ábra. A Cu maximum előrejelzések RMS hibája 1996-2008 (okta)



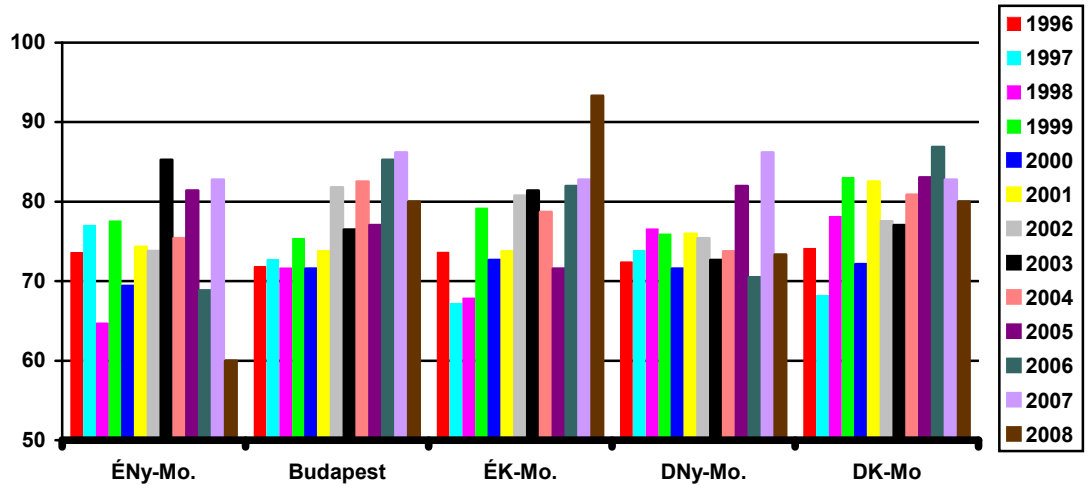
4. ábra. A Cu átlag előrejelzések RMS hibája 1996-2008 (okta)



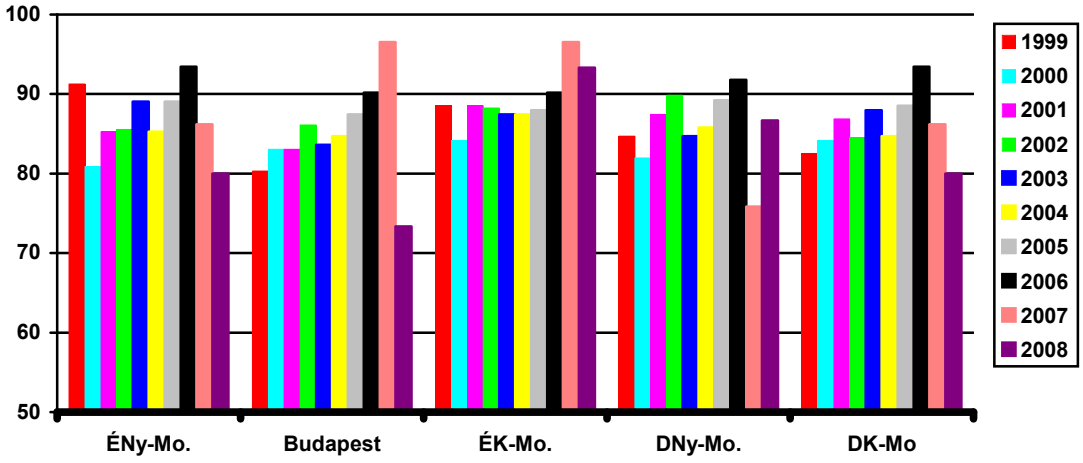
5. ábra. A maximum hőmérséklet előrejelzések RMS hibája 1996-2008 (°C)



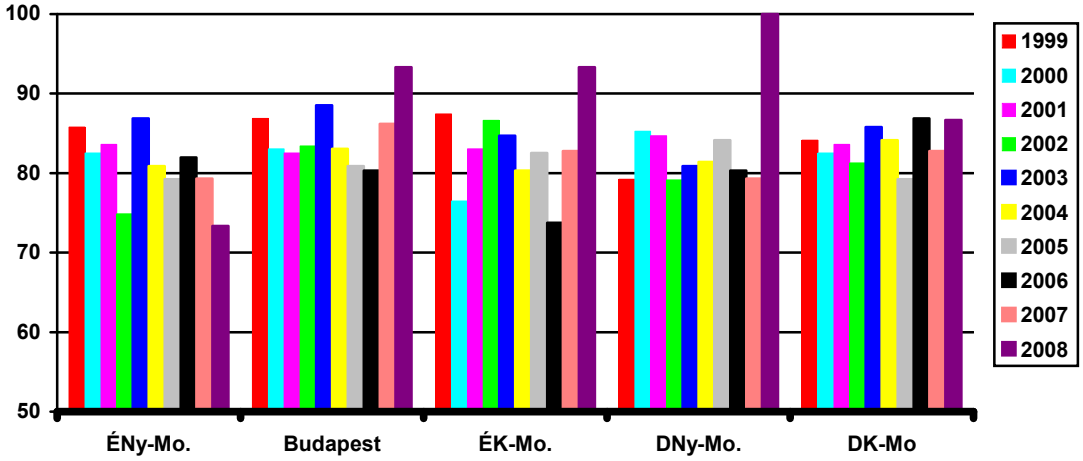
6. ábra. A látástávolság előrejelzések RMS hibája 1996-2008 (km)



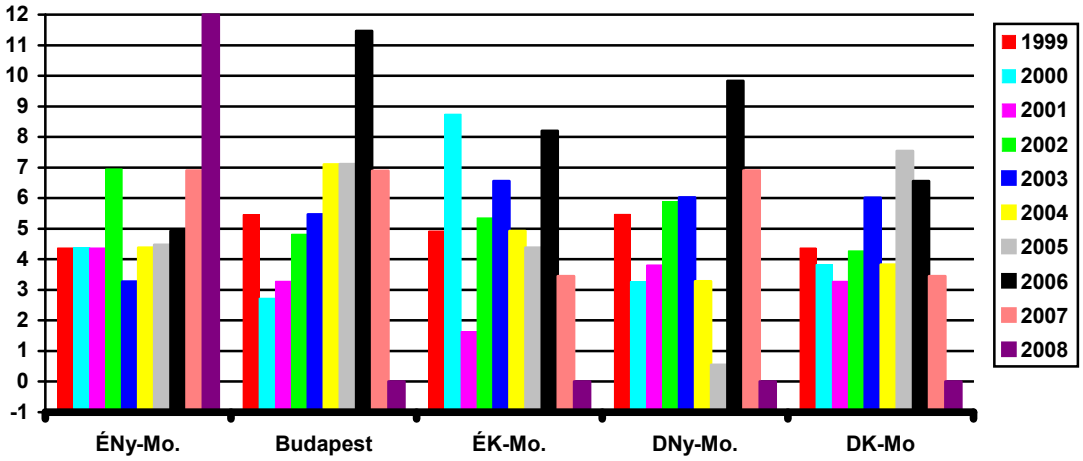
7. ábra. A Cb felhőzet előrejelzések beválása 1996-2008 (%)



8. ábra. A csapadék egzisztencia előrejelzések beválása 1999-2008 (%)



9. ábra. A zivatar előrejelzések beválása 1999-2008 (%)



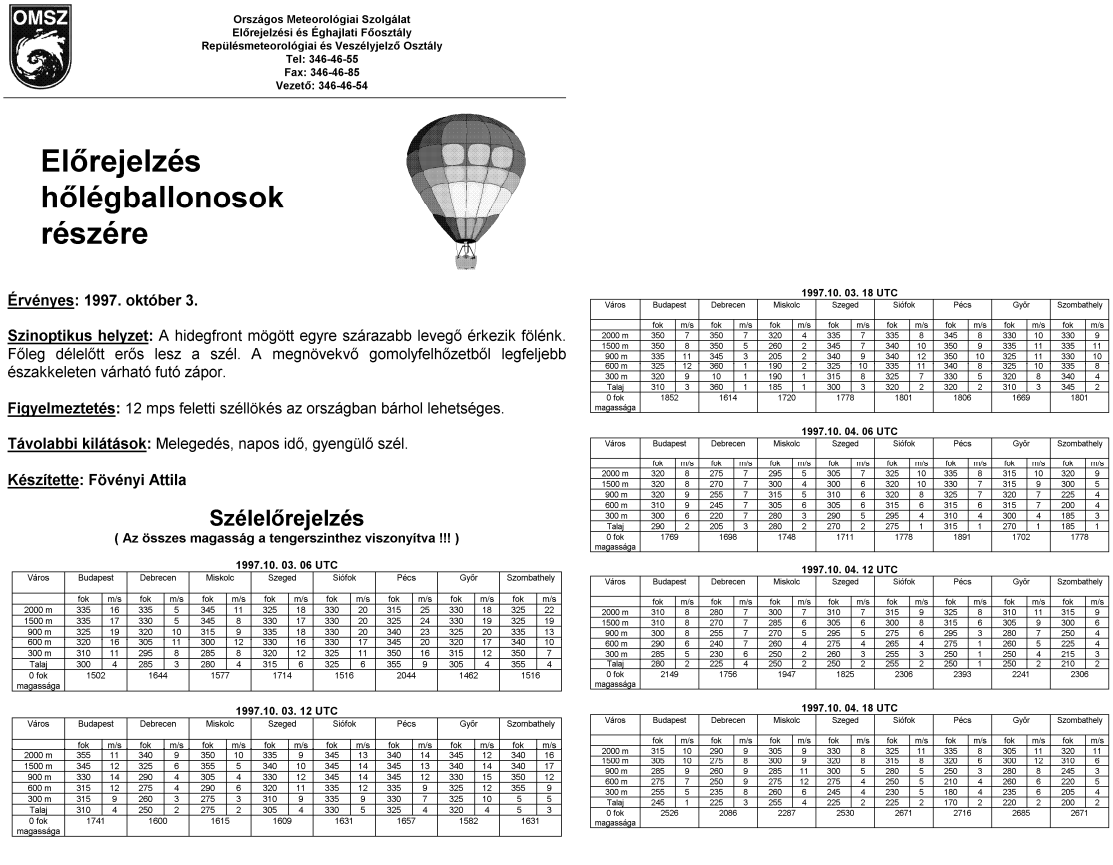
10. ábra. Volt zivatar és nem jeleztük előre 1999-2008 (%)

ELŐREJELZÉS KÉSZÍTÉSE HŐLÉGBALLONOSOK RÉSZÉRE

Mióta az ALADIN.HU pszeudó-tempek a rendelkezésünkre állnak, egyre több módon használjuk fel őket. Ezek egyike az, hogy Magyarország nyolc városára a rendelkezésre álló adatokból kiszámoljuk a hőlégballonosok számára a 0 °C-os szintek magasságait, valamint 6 szintre (talaj, 300, 600, 900, 1500, 2000 m) a szél irányát és sebességét.

Az előrejelzés első oldalán a szinoptikus helyzet, valamint a várható időjárás leírása szerepel. Ezt követi a veszélyes időjárási elemekre vonatkozó figyelmeztetés, a következő napokra vonatkozó rövid prognózis, valamint a szinoptikus neve. Ezeket a repülésmeteorológus tölti ki. Utána hat időpontra (az adott nap 06, 12, 18 UTC-re és a következő nap 06, 12, 18 UTC-re) megadjuk a nyolc magyar városra (Budapest, Debrecen, Miskolc, Szeged, Siófok, Pécs, Győr, Szombathely) az ALADIN.HU modell által előre jelzett szélirány és szélsebesség adatokat és a 0 °C-os szint(ek) magassági adatait.

Az előrejelzést WinWord formátumban (11. ábra.) és text fájlként is elkészítjük, a text fájlt pedig felküldjük az OMSz FTP szerverére. Amennyiben valaki igényli az előrejelzést, akkor előfizetés után kérésre e-mailben elküldjük neki a WinWord formátumú előrejelzést, vagy jogot biztosítunk az FTP szerverhez való hozzáférésre. Az elmúlt években többször is kérték ezeket az előrejelzéseinket különböző versenyek lebonyolításához.



Országos Meteorológiai Szolgálat
Előrejelzési és Éghajlati Főosztály
Repülésmeteorológiai és Veszélyjelző Osztály
Tel: 346-46-55
Fax: 346-46-85
Vezető: 346-46-54

Előrejelzés hőlégballonosok részére

Érvényes: 1997. október 3.

Szinoptikus helyzet: A hidegfront mögött egyre szárazabb levegő érkezik fölénk. Főleg délelőtt erős lesz a szél. A megnövekvő gomolyfelhőzetből legfeljebb északkeleten várható futó zápor.

Figyelmeztetés: 12 mps feletti széllökés az országban bárhol lehetséges.

Távolabbi kilátások: Melegedés, napos idő, gyengülő szél.

Készítette: Fövényi Attila

Szélelőrejelzés
(Az összes magasság a tengerszinthez viszonyítva !!!)

1997.10. 03. 06 UTC

Város	Budapest		Debrecen		Miskolc		Szeged		Siófok		Pécs		Győr		Szombathely	
	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s
2000 m	335	16	335	5	345	11	325	18	330	20	315	25	330	18	325	22
1500 m	335	17	330	5	345	8	330	17	330	20	325	24	330	19	325	19
900 m	325	19	320	10	315	9	335	18	330	20	340	23	325	20	335	13
600 m	320	16	305	11	300	12	330	16	330	17	345	20	320	17	340	10
300 m	310	11	295	8	285	8	320	12	325	11	350	16	315	12	350	7
Talaj	300	4	285	3	280	4	315	6	325	6	355	9	305	4	355	4
0 fok magassága	1502		1644		1577		1714		1516		2044		1462		1516	

1997.10. 03. 12 UTC

Város	Budapest		Debrecen		Miskolc		Szeged		Siófok		Pécs		Győr		Szombathely	
	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s
2000 m	355	11	340	9	350	10	335	9	345	13	340	14	345	12	340	16
1500 m	345	12	325	6	355	5	340	10	345	14	345	13	340	14	340	17
900 m	330	14	290	4	305	4	330	12	345	14	345	12	330	15	350	12
600 m	315	12	275	4	290	6	320	11	335	12	335	9	325	12	355	9
300 m	315	9	260	3	275	3	310	9	335	9	330	7	325	10	5	5
Talaj	310	4	250	2	275	2	305	4	330	5	325	4	320	4	5	3
0 fok magassága	1741		1600		1615		1609		1631		1657		1582		1631	

1997.10. 03. 18 UTC

Város	Budapest		Debrecen		Miskolc		Szeged		Siófok		Pécs		Győr		Szombathely	
	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s
2000 m	350	7	350	7	320	4	335	7	335	8	345	8	330	10	330	9
1500 m	350	8	350	5	280	2	345	7	340	10	350	9	335	11	335	11
900 m	335	11	345	3	205	2	340	9	340	12	350	10	325	11	330	10
600 m	325	12	360	1	190	2	325	10	335	11	340	8	325	10	335	8
300 m	320	9	10	1	190	1	315	8	325	7	330	5	320	8	340	4
Talaj	310	3	360	1	185	1	300	3	320	2	320	2	310	3	345	2
0 fok magassága	1852		1614		1720		1778		1801		1806		1669		1801	

1997.10. 04. 06 UTC

Város	Budapest		Debrecen		Miskolc		Szeged		Siófok		Pécs		Győr		Szombathely	
	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s
2000 m	320	8	275	7	295	5	305	7	325	10	335	8	315	10	320	9
1500 m	320	8	270	7	300	4	300	6	320	10	330	7	315	9	300	5
900 m	320	9	255	7	315	5	310	6	320	8	325	7	320	7	225	4
600 m	310	9	245	7	305	6	305	6	315	6	315	6	315	7	200	4
300 m	300	6	220	7	280	3	290	5	295	4	310	4	300	4	185	3
Talaj	290	2	205	3	280	2	270	2	275	1	315	1	270	1	185	1
0 fok magassága	1769		1698		1748		1711		1778		1891		1702		1778	

1997.10. 04. 12 UTC

Város	Budapest		Debrecen		Miskolc		Szeged		Siófok		Pécs		Győr		Szombathely	
	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s
2000 m	310	8	280	7	300	7	310	7	315	9	325	8	310	11	315	9
1500 m	310	8	270	7	285	6	305	6	300	8	315	6	305	9	300	6
900 m	300	8	255	7	270	5	295	5	275	6	295	3	280	7	250	4
600 m	290	6	240	7	260	4	275	4	265	4	275	1	260	5	225	4
300 m	285	5	230	6	250	2	260	3	255	3	250	1	250	4	215	3
Talaj	280	2	225	4	250	2	250	2	255	2	250	1	250	2	210	2
0 fok magassága	2149		1756		1947		1825		2306		2393		2241		2306	

1997.10. 04. 18 UTC

Város	Budapest		Debrecen		Miskolc		Szeged		Siófok		Pécs		Győr		Szombathely	
	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s	fok	m/s
2000 m	315	10	290	9	305	9	330	8	325	11	335	8	305	11	320	11
1500 m	305	10	275	8	300	9	320	8	315	8	320	6	300	12	310	6
900 m	285	9	260	9	285	11	300	5	280	5	250	3	280	8	245	3
600 m	275	7	250	9	275	12	275	4	250	5	210	4	260	6	220	5
300 m	255	5	235	8	260	6	245	4	230	5	180	4	235	6	205	4
Talaj	245	1	225	3	255	4	225	2	225	2	170	2	220	2	200	2
0 fok magassága	2526		2086		2287		2530		2671		2716		2685		2671	

11. ábra. A WinWord formátumú hőlégballon előrejelzés

LEE-HULLÁM ELŐREJELZÉSEK KÉSZÍTÉSE VITORLÁZÓ REPÜLŐK RÉSZÉRE

A vitorlázó repülők nem csak a sekély konvekcióból (termik) származó függőleges áramlásokat használják ki, hanem egyéb olyan légköri folyamatokat is, amelyek ilyet eredményeznek. Ezek a következők lehetnek.

Az egyik a fejlett konvekció, amikor a vitorlázók belemennek a fejlődőben lévő zivatarfelhőbe és az ebben uralkodó erős feláramlásokkal 5 km feletti magasságba emelkednek.

A másik lehetőség, amelyet kihasználnak, a hegyek szél felőli oldalán jelentkező luv-áramlás. Ilyenkor a hegy által okozott kényszer következtében a hegy előtt feláramlás alakul ki, amelyet emelkedésre lehet használni. Ennek a hátránya, hogy csak kis magasságokig terjed, így sem távrepülésre, sem magassági repülésre nem lehet jól kihasználni.

A harmadik eset, amikor a talaj közelében meglehetősen erős a szél, de a magasban erősen legyengül, vagy az iránya jelentősen megváltozik. Ilyenkor a hegy szélárnyékos oldalán vízszintes tengelyű örvény, rotor alakul ki. A rotor hegy felőli oldalán feláramlás jön létre, amely azonban nem terjed túl nagy magasságig. Stabil szélirány és a szélre merőleges hegyláncok esetén azonban a luv-áramlásra jellemző ”lejtőzéssel” szemben hosszabb távú repülésre is alkalmas.

A negyedik eset az, amikor a kialakult rotor felett megfelelő szélviszonyok és hőmérsékleti rétegződés esetén álló hullám alakul ki. Ezt nevezzük lee-hullámnak. Ilyen hullám akkor tud kialakulni, ha a rotor teteje környékén, vagy valamivel az alatt egy relatíve stabil hőmérsékleti rétegződés található, és e felett a szél erősödik, vagy legalábbis nem csökken a magassággal, valamint a hőmérsékleti gradiens növekszik. A kialakuló hullám magassága nagymértékben függ a hegy relatív magasságától, meredekségétől és az uralkodó szél irányától, erősségétől.

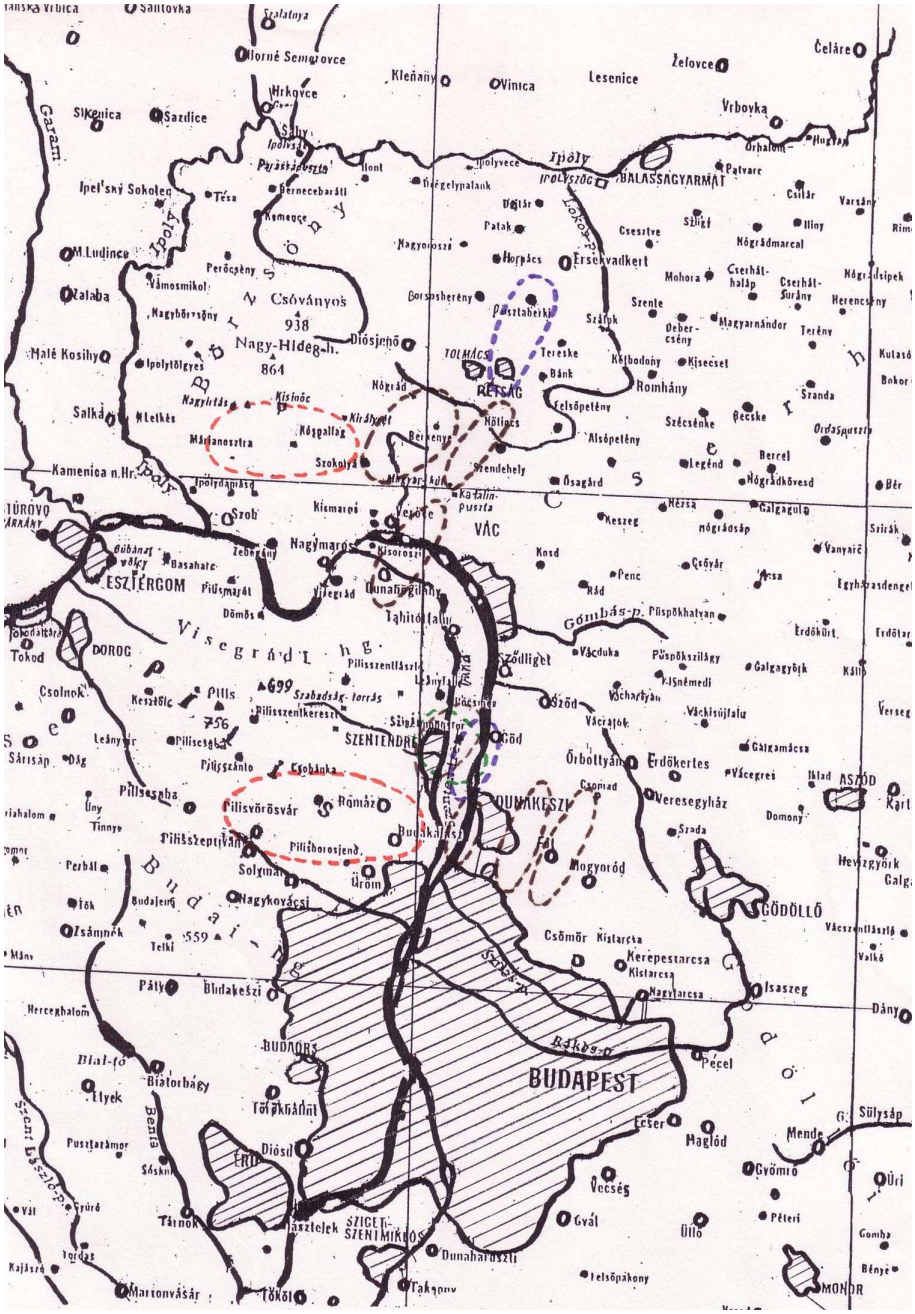
A kialakuló hullám előre jelezhető a Scorer-paraméter segítségével:

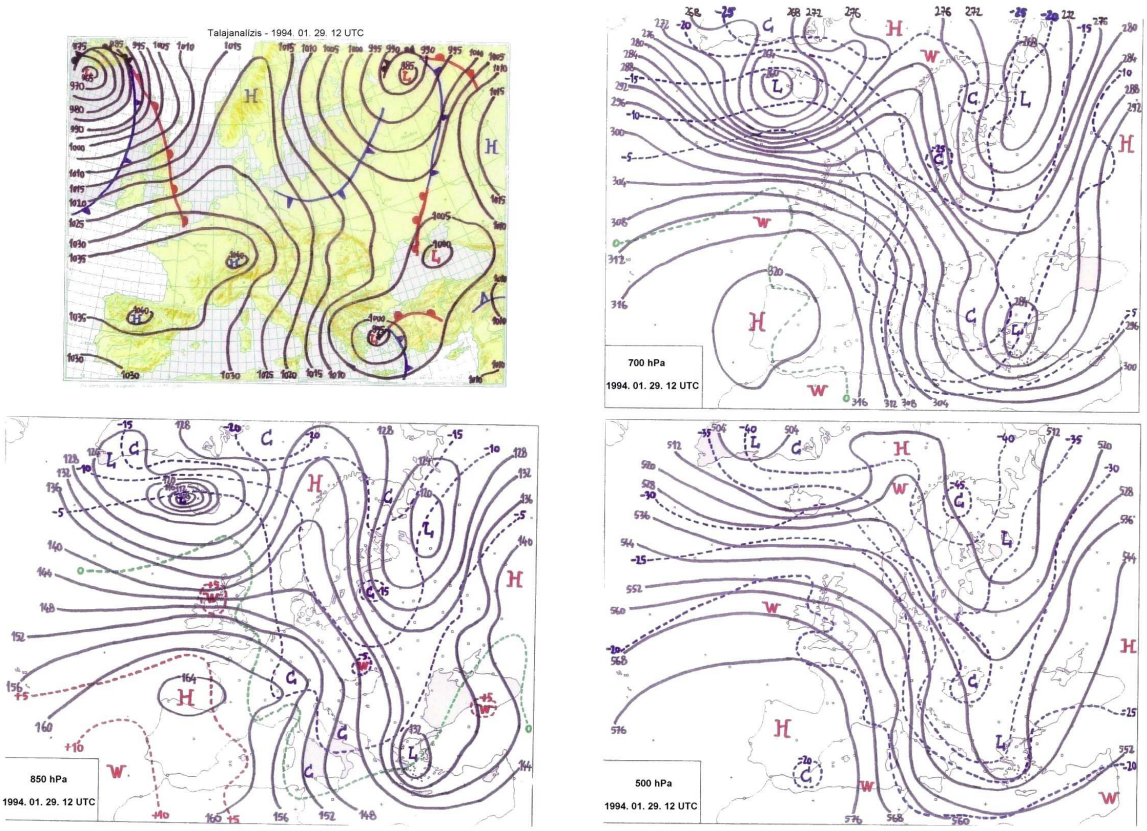
$$
\begin{aligned}
l^2 &= \frac{\left(\overline{G} - G_a\right) * \mathrm{g}}{\overline{T} * \overline{u}^2} - \frac{1}{\overline{\mathrm{u}}} * \frac{d^2 u}{\mathrm{dz}^2} \cong \frac{\left(\overline{G} - G_a\right) * \mathrm{g}}{\overline{T} * \overline{u}^2} \\
\mathrm{g} &\cong 127137.6 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}^2} \\
G_a &\cong -9.76 \frac{K}{km}
\end{aligned}
\tag{4}
$$

ahol „G” az átlagos hőmérsékleti gradiens, „T” az átlagos hőmérséklet és „u” az átlagos hegyre merőleges szélsebesség az adott légrétegben. A klasszikus esetben hullám kialakulása akkor várható, ha ez a paraméter egy maximális értéket vesz fel a rotor tetejének közelében, és utána a magassággal csökken az értéke.

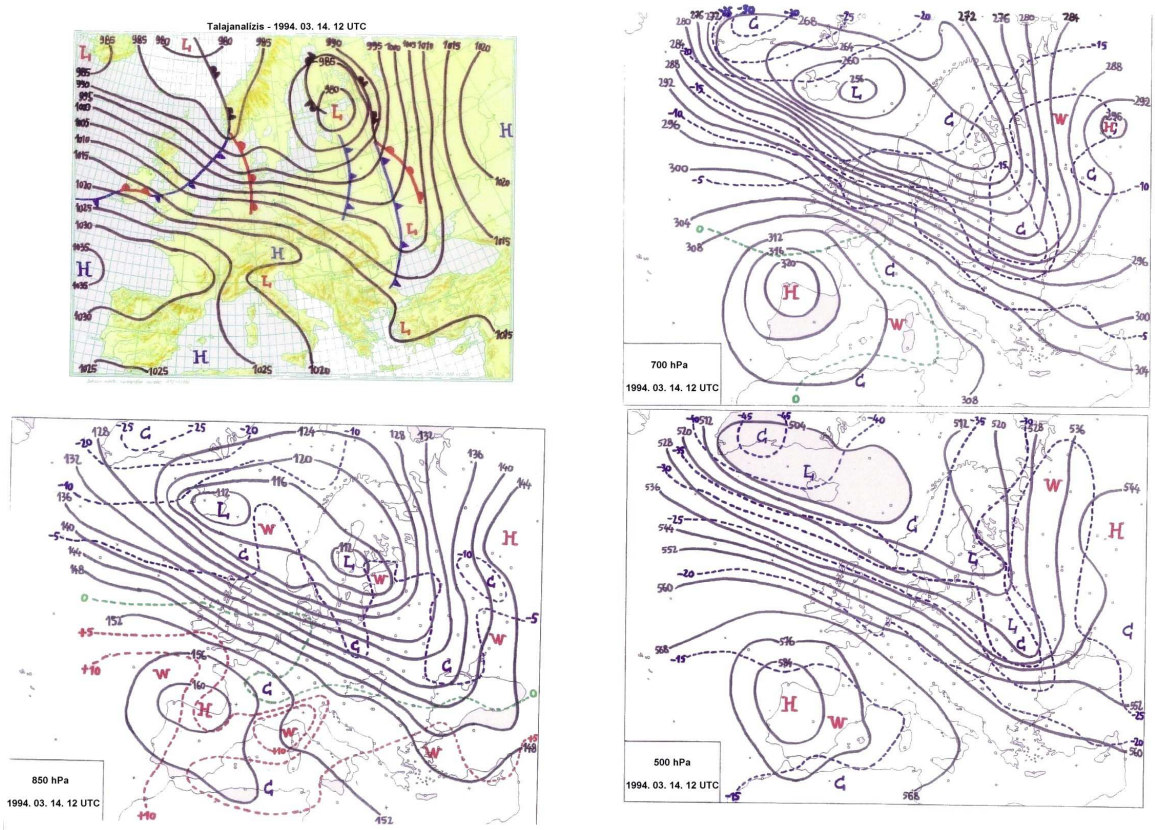
A dunakeszi pilóták segítségével meghatároztuk a Börzsöny, a Visegrádi-hegység és a Pilis hullámtereit (12. ábra.). Bár délnyugati szél esetén is vannak hullámterek, de olyankor nem sikerült

4000 m fölé emelkedniük, 5000 m fölötti magasságba csak északnyugati és északi áramlásban sikerült emelkedni.

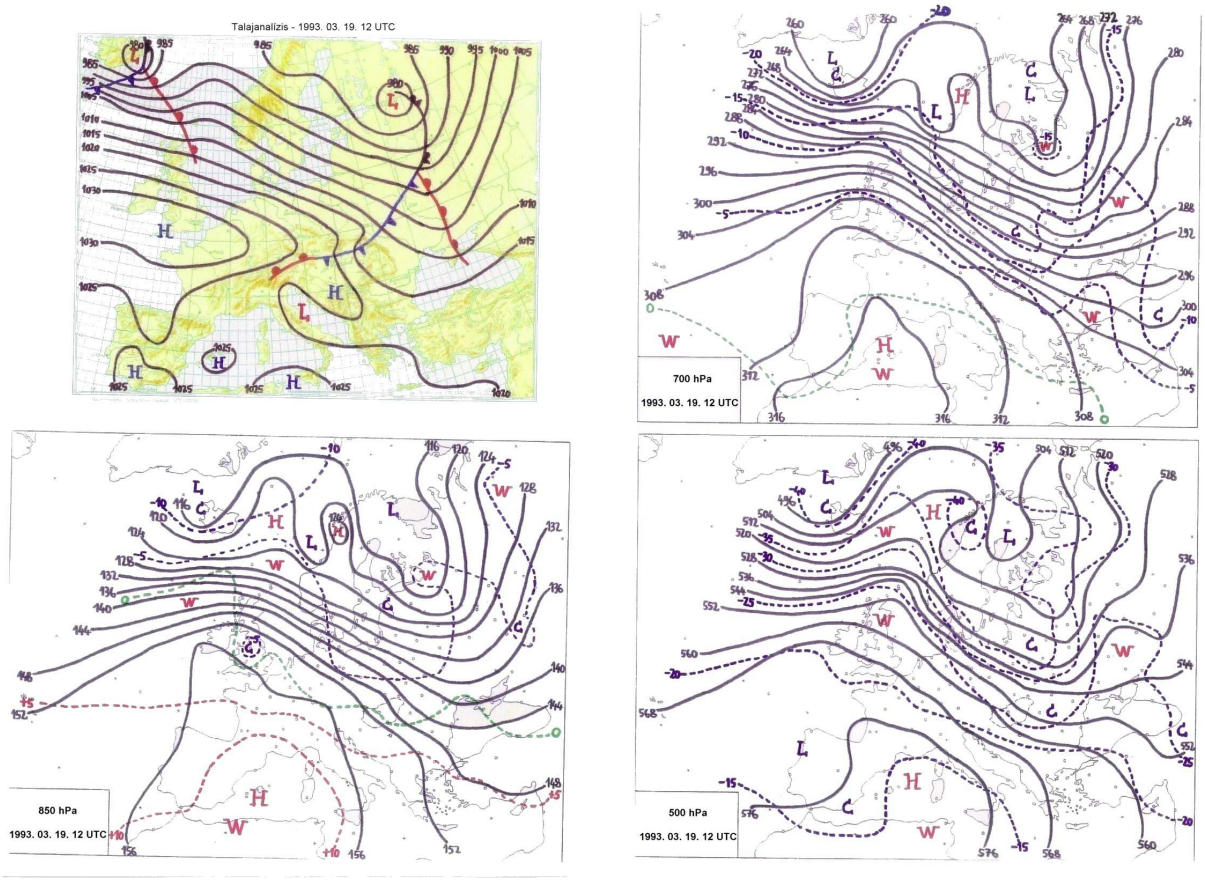

Garam
Ipoly
Nagy-Hideg-h.
864
Csóványos
938
Börzsöny
Visegrádi hg.
Pilis
699
756
559
Budai hg.
Gerecse
Vértes
Bakony
Duna
Tolmács
RÉVKÖZ
VÁC
ESZTERGOM
SZENTENDRE
DUNAKESZI
GÖDÖLLŐ
BUDAPEST
BUDAÖRS
ÁSZÓD
MOHÁCS
Nagymaros
Visegrád
Dömös
Pilisszentlászló
Pilisszentkereszt
Pilisvörösvár
Pilisszentiván
Solymár
Nagykovácsi
Budakalász
Csobánka
Szentendrei-sziget
Szigetszentmiklós
Dunaharaszti
Tahitótfalu
Kismaros
Szokolya
Kemence
Diósjenő
Nógrád
Romhány
Szécsénke
Bercel
Ősagárd
Legénd
Nógrádkövesd
Alsópetény
Felsőpetény
Kétbodony
Kisecset
Szanda
Szente
Magyarnándor
Terény
Herencsény
Mohora
Csehbánya
Csehbányasúrány
Nógrádsipek
Nógrádmarcal
Csesztve
Ersekvadkert
Hugyan
Patvarc
Orhalom
Csitár
Varsány
Illiny
Szügy
Patak
Horpács
Szátok
Pásztabérki
Tereske
Bánk
Kisinóc
Kóspallag
Berkenye
Hólincs
Szob
Kóstolány
Kóstolánypuszta
Kesző
Penc
Rád
Csővár
Vanyarc
Galgagután
Galgamácsa
Galgaguta
Püspökhatvan
Püspökszilágy
Kisnémedi
Vácduka
Vácszentlászló
Vácrátót
Vácegres
Váchartyán
Váckisújfalu
Erdőkürt
Erdőtarcsa
Erdőkertes
Veresegyház
Csomád
Domony
Szada
Örbottyán
Csömör
Kistarcsa
Kerepestarcsa
Nagytarcsa
Mogyoród
Hévízgyörk
Isaszeg
Dány
Pécel
Fót
Budakalász
Solymár
Üröm
Budajenő
Telki
Zsámok
Tök
Perbál
Pilisborosjenő
Pilisszántó
Leányvár
Sárisáp
Tinnye
Piliscsaba
Csolnok
Kesztölc
Tokod
Dorog
Bajót
Tát
Tarján
Tardos
Tarjánpuszta
Kecskéd
Kömlőd
Kömlőpuszta
Kisoroszi
Nagymaros
Zebegény
Basahalom
Kübányi völgy
Piliscsév
Tahitótfalu
Szobi
Kamenica n.Hr.
Ipolydamásd
Ipolytölgyes
Nagyhideghegy
Nagybörzsöny
Perőcsény
Vámosmikola
Nagyorosi
Borosbenye
Szanda
Szente
Szügy
Patak
Csesztve
Ersekvadkert
Horpács
Nógrádmarcal
Illiny
Csitár
Varsány
Hugyan
Patvarc
Orhalom
Balassagyarmat
Ipolyvece
Ipolyszög
Ipolyság
Ipolyhalászi
Ipolyvarbó
Ipolynyék
Ipolyszakállos
Ipolyhídvég
Ipolyfödémes
Ipolyvisk
Ipolyszalka
Ipolyhidvég
Ipolyvarbó
Ipolyság
Ipolyszög
Ipolyvece
Ipolyhalászi
Ipolyszakállos
Ipolynyék



13. ábra. Anticiklonális északi áramlás



14. ábra. Anticiklonális északnyugati áramlás



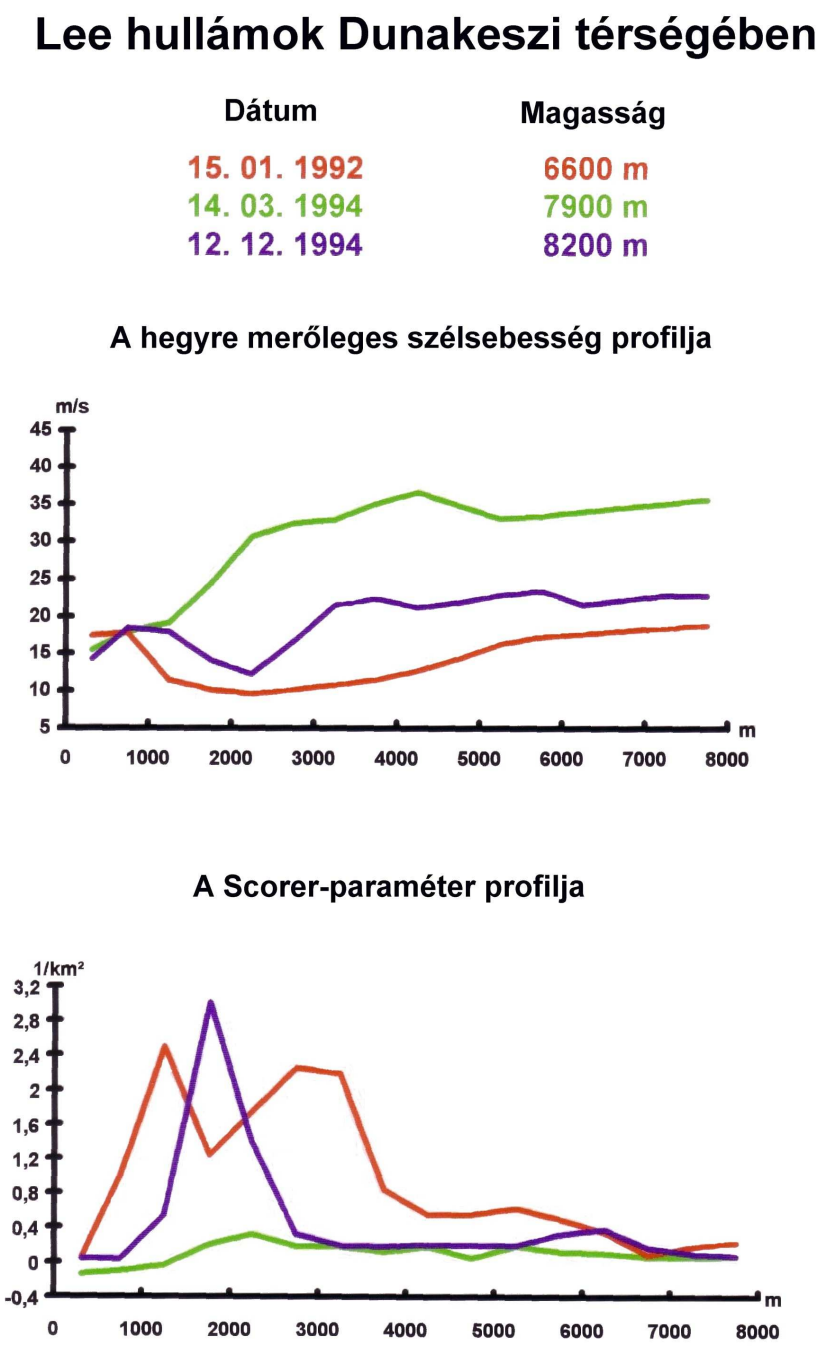
15. ábra. Ciklonális északnyugati áramlás

A Scorer-paraméternél a Mátra térségében egy, a Börzsöny térségében három alaptípust tudtunk megkülönböztetni (16. ábra.):

1. Gyenge szél, a Scorer-paraméternek egy nagy maximuma van 1000, egy másik nagy maximuma 3000 m körül, fölötte jelentősen csökken az értéke. (Csak a Börzsöny térsége).

2. Rendkívül erős szél, a talaj közelében überadiabatikus (szuperadiabatikus) légrétegződés, a Scorer-paraméternek egy kis maximuma van 1800-2200 m között, fölötte kissé csökken, de közel állandó az értéke. (Csak a Börzsöny térsége).

3. Közepes erősségű szél, a Scorer-paraméternek egy nagy maximuma van 1500-2000 m között, fölötte jelentősen csökken az értéke. Klasszikus lee-hullám. (Börzsöny és Mátra vidéke is).

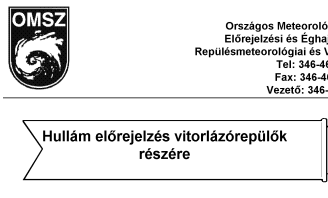


16. ábra. – A szélsebesség és a Scorer-paraméter vertikális profil alaptípusai

Az ALADIN modell pszeudó-tempjeinek felhasználásával készül el négy magyar városra (Budapest. Miskolc, Szombathely, Pécs) a hullám előrejelzés WinWord és text fájl formátumban.

Az előrejelzés első oldalán (16. ábra.) a szinoptikus helyzet rövid leírása szerepel, és az, hogy hullám kialakulása lehetséges-e az adott napon. Utána egy rövid jellemzése a következő napok időjárásának, természetesen azt is belefoglalva, hogy lehetséges-e hullám kialakulása, valamint a következő két oldal táblázataiban szereplő meteorológiai elemek, paraméterek és a klasszikus hullám esetét jellemző Scorer-profil leírása. A második és harmadik oldalon három időlépcsőre előre jelezzük

a talaj és 8000 méter közötti 500 méteres rétegekre az átlagos hőmérsékletet, az átlagos gradienst, az átlagos szélirányt és erősséget, a hegyre merőleges (500 és 1000 m közötti szélirány átlaghoz viszonyított) szélerősséget, valamint az átlagos és a merőleges szélsebességből kiszámított Scorer-paraméter értékeit.



Országos Meteorológiai Szolgálat
Előrejelzési és Éghajlati Főosztály
Repülésmeteorológiai és Veszélyjelző Osztály
Tel: 346-46-55
Fax: 346-46-85
Vezető: 346-46-54

Hullám előrejelzés vitorlázórepülők részére

Érvényes: **1997.10.03.**

Szinoptikus helyzet: Az átvonult hidegfront mögött szárazabb levegő érkezik fölénk. Kisebb zápor, a magasabb hegyekben esetleg havaseső legfeljebb északkeleten lehetséges. A szél főleg délelőtt még erős lesz, ekkor 5000 m körüli hullámok is kialakulhatnak.

Távolabbi kilátások: Gyengülő szél, melegedő, napos idő. Hullám kialakulása már nem valószínű.

Használati útmutató:
A következő két oldal a Börzsöny, a Mátra, a Mecsek és az Alpok hullámterében történő hullámrepüléshez hasznosítható meteorológiai információkat tartalmazza.
A 09, 15 és másnap 09 UTC-re előrejelzett értékeket a talajszinttől 8000 m magasságig 500 méteres bontásban adjuk meg.
A közölt információk az alábbiak:
- Az 500 m-es rétegek átlaghőmérséklete (°C)
- A rétegek átlagos hőmérsékleti gradiense (°C/100m)
- Az átlagos szélirány (fok)
- Az átlagos szélerősség (m/s)
- A hegygerincre merőleges szélkomponens erőssége (m/s)
- Az átlagos szélerősségből származtatott Scorer paraméter ($1/km^2$)
- A gerincre merőleges szélkomponensből származtatott Scorer paraméter ($1/km^2$)

A Scorer paraméter az $l^2=(g/T)(\gamma_{sz} - \gamma)/(u^2)$ formula szerint számítható, a légréteg hőmérsékletétől, a stabilitásától és a szélsebességtől függő érték, ahol
T: a légréteg hőmérséklete
g: a nehézségi gyorsulás
γ_{sz} : a száraz adiabatikus hőmérsékleti gradiens
γ : a tényleges hőmérsékleti gradiens
u: a szélsebesség

A hullámrepüléshez kedvező feltételek esetén a Scorer paraméter az 1000 m és 2000 m közötti légrétegben 1 és 2 közötti maximum értéket vesz fel, 2000 m között pedig 0.6 és 0 között változik, oly módon, hogy az értékek a magassággal csökkennek.

Készítette: Fövényi Attila

1997.10.03. 09 UTC

	Budapest							Miskolc						
Magasság m	Átl. hőm. °C	Átl. grad. °C/100m	Átl. szír. fok	Átl. szer. m/s	Átl. ⊥ szer. m/s	Scorer $1/km^2$	Scorer ⊥ $1/km^2$	Átl. hőm. °C	Átl. grad. °C/100m	Átl. szír. fok	Átl. szer. m/s	Átl. ⊥ szer. m/s	Scorer $1/km^2$	Scorer ⊥ $1/km^2$
Talaj-500	7.2	-0.605	308	10.90	10.64	1.09	1.14	7.6	0.345	287	9.67	9.12	4.93	5.55
500-1000	3.9	-0.686	321	17.30	17.30	0.34	0.34	6.2	-0.620	306	10.64	10.64	1.10	1.10
1000-1500	1.3	-0.474	333	18.55	18.13	0.52	0.54	2.6	-0.777	336	7.59	6.56	1.22	1.62
1500-2000	-1.6	-0.668	335	16.61	16.02	0.40	0.43	-1.5	-0.857	348	9.32	6.94	0.49	0.88
2000-2500	-4.9	-0.607	331	16.05	15.79	0.52	0.54	-5.2	-0.603	343	11.95	9.63	0.95	1.47
2500-3000	-7.7	-0.486	326	16.87	16.81	0.63	0.64	-7.8	-0.448	334	11.76	10.43	1.41	1.79
3000-3500	-9.7	-0.343	321	17.80	17.80	0.74	0.74	-10.1	-0.484	327	11.01	10.32	1.51	1.72
3500-4000	-11.3	-0.356	316	17.99	17.93	0.72	0.72	-12.6	-0.506	319	11.59	11.31	1.31	1.38
4000-4500	-13.4	-0.462	312	17.99	17.78	0.60	0.61	-15.2	-0.529	315	13.38	13.22	0.95	0.97
4500-5000	-16.1	-0.608	308	18.40	17.93	0.41	0.43	-18.0	-0.603	314	15.52	15.39	0.59	0.60
5000-5500	-19.3	-0.676	303	19.29	18.39	0.31	0.34	-21.1	-0.663	310	16.94	16.91	0.42	0.42
5500-6000	-22.8	-0.730	297	20.60	18.80	0.23	0.27	-24.6	-0.714	306	17.73	17.73	0.33	0.33
6000-6500	-26.7	-0.814	293	21.46	18.91	0.14	0.18	-28.4	-0.811	303	18.38	18.35	0.19	0.19
6500-7000	-30.9	-0.947	290	21.90	19.70	0.11	0.15	-32.5	-0.900	300	19.10	18.96	0.19	0.19
7000-7500	-35.1	-0.863	287	21.99	18.18	0.09	0.14	-36.5	-0.805	297	20.22	19.95	0.17	0.18
7500-8000	-39.2	-0.761	286	22.23	18.30	0.18	0.27	-40.2	-0.659	294	21.38	20.89	0.29	0.30

1997.10.03. 15 UTC

	Budapest							Miskolc						
Magasság m	Átl. hőm. °C	Átl. grad. °C/100m	Átl. szír. fok	Átl. szer. m/s	Átl. ⊥ szer. m/s	Scorer $1/km^2$	Scorer ⊥ $1/km^2$	Átl. hőm. °C	Átl. grad. °C/100m	Átl. szír. fok	Átl. szer. m/s	Átl. ⊥ szer. m/s	Scorer $1/km^2$	Scorer ⊥ $1/km^2$
Talaj-500	10.1	-1.072	313	9.15	9.03	-0.40	-0.41	11.3	-0.957	279	4.15	3.95	0.35	0.39
500-1000	6.0	-0.867	322	13.10	13.10	0.22	0.22	7.9	-0.888	297	4.68	4.68	1.37	1.37
1000-1500	2.7	-0.483	340	13.59	12.96	0.93	1.02	3.4	-0.915	339	3.75	2.80	1.48	2.65
1500-2000	-0.1	-0.675	352	11.55	10.00	0.81	1.08	-1.1	-0.837	353	7.47	4.17	0.89	2.85
2000-2500	-3.5	-0.679	355	10.36	8.70	1.00	1.42	-4.7	-0.642	350	11.42	6.89	0.93	2.55
2500-3000	-7.0	-0.696	355	10.83	9.14	0.91	1.27	-7.7	-0.568	350	12.38	7.49	0.98	2.67
3000-3500	-10.3	-0.613	351	11.82	10.40	0.96	1.25	-10.6	-0.594	344	11.35	7.82	1.10	2.32
3500-4000	-13.0	-0.494	342	12.76	11.98	1.11	1.26	-13.5	-0.539	334	10.99	8.78	1.36	2.13
4000-4500	-15.3	-0.430	334	14.20	13.91	1.03	1.07	-15.9	-0.432	328	11.45	9.86	1.57	2.12
4500-5000	-17.6	-0.480	328	15.39	15.31	0.80	0.81	-18.2	-0.528	325	12.26	10.83	1.14	1.46
5000-5500	-20.2	-0.610	324	15.95	15.64	0.54	0.54	-21.1	-0.620	324	13.01	11.55	0.69	1.01
5500-6000	-23.6	-0.711	321	16.02	16.02	0.40	0.40	-24.5	-0.716	321	13.71	12.50	0.54	0.65
6000-6500	-27.5	-0.819	322	16.91	16.91	0.22	0.22	-28.4	-0.838	320	14.38	13.25	0.26	0.31
6500-7000	-31.4	-0.758	326	18.42	18.39	0.26	0.26	-32.6	-0.860	320	15.09	13.86	0.20	0.24
7000-7500	-35.1	-0.726	329	20.70	20.57	0.24	0.24	-37.0	-0.880	323	16.21	14.57	0.15	0.18
7500-8000	-38.4	-0.597	330	22.95	22.73	0.30	0.31	-40.9	-0.638	325	17.77	15.71	0.45	0.57

1997.10.04. 09 UTC

	Budapest							Miskolc						
Magasság m	Átl. hőm. °C	Átl. grad. °C/100m	Átl. szír. fok	Átl. szer. m/s	Átl. ⊥ szer. m/s	Scorer $1/km^2$	Scorer ⊥ $1/km^2$	Átl. hőm. °C	Átl. grad. °C/100m	Átl. szír. fok	Átl. szer. m/s	Átl. ⊥ szer. m/s	Scorer $1/km^2$	Scorer ⊥ $1/km^2$
Talaj-500	7.4	-0.113	301	6.33	6.14	7.51	7.99	7.0	0.921	288	4.83	4.50	28.48	32.81
500-1000	5.6	-0.458	316	8.99	8.99	2.25	2.25	6.9	-0.424	309	5.33	5.33	6.77	6.77
1000-1500	2.9	-0.614	320	8.20	8.17	1.91	1.92	3.6	-0.738	304	4.02	4.01	5.17	5.20
1500-2000	0.1	-0.510	320	8.00	7.98	2.60	2.62	-0.0	-0.720	296	4.25	4.14	5.05	5.33
2000-2500	-2.1	-0.372	320	8.08	8.06	3.34	3.36	-3.3	-0.554	300	5.44	5.37	5.15	5.29
2500-3000	-3.8	-0.358	324	9.64	9.53	2.41	2.47	-5.6	-0.380	311	7.17	7.17	4.23	4.23
3000-3500	-5.8	-0.404	329	11.68	11.37	1.53	1.62	-7.3	-0.328	321	9.83	9.60	2.47	2.59
3500-4000	-7.8	-0.429	330	14.15	13.71	1.01	1.07	-9.1	-0.306	328	12.10	11.44	1.47	1.64
4000-4500	-10.0	-0.445	330	15.55	15.07	0.82	0.87	-11.3	-0.483	330	14.21	13.25	0.91	1.05
4500-5000	-12.5	-0.526	332	16.64	15.99	0.61	0.66	-13.9	-0.595	331	16.36	15.13	0.54	0.63
5000-5500	-15.2	-0.581	335	18.20	17.14	0.45	0.51	-17.1	-0.652	335	17.93	16.13	0.38	0.47
5500-6000	-18.2	-0.629	339	20.17	18.56	0.33	0.39	-20.5	-0.682	338	19.89	17.32	0.29	0.38
6000-6500	-21.7	-0.755	338	22.47	20.78	0.17	0.20	-24.0	-0.726	340	21.86	18.71	0.20	0.28
6500-7000	-25.5	-0.784	336	24.82	23.31	0.12	0.14	-27.6	-0.753	340	23.82	20.33	0.16	0.21
7000-7500	-29.6	-0.812	338	26.11	24.18	0.10	0.11	-31.6	-0.797	343	26.52	22.03	0.10	0.15
7500-8000	-33.6	-0.826	341	27.51	24.94	0.08	0.10	-35.5	-0.790	345	29.29	23.69	0.09	0.14

1997.10.03. 09 UTC

	Pécs							Szombathely						
Magasság m	Átl. hőm. °C	Átl. grad. °C/100m	Átl. szír. fok	Átl. szer. m/s	Átl. ⊥ szer. m/s	Scorer $1/km^2$	Scorer ⊥ $1/km^2$	Átl. hőm. °C	Átl. grad. °C/100m	Átl. szír. fok	Átl. szer. m/s	Átl. ⊥ szer. m/s	Scorer $1/km^2$	Scorer ⊥ $1/km^2$
Talaj-500	8.8	-0.058	350	14.62	14.53	1.49	1.51	9.4	0.194	350	7.18	6.97	7.85	8.33
500-1000	7.0	-0.475	344	21.48	21.48	0.38	0.38	7.2	-0.754	336	11.51	11.51	0.58	0.58
1000-1500	4.5	-0.571	332	23.10	22.59	0.27	0.28	2.9	-0.859	330	16.16	16.04	0.16	0.16
1500-2000	1.6	-0.549	319	24.30	21.97	0.26	0.31	-0.9	-0.682	325	20.44	20.06	0.25	0.26
2000-2500	-1.1	-0.550	312	25.00	21.22	0.24	0.34	-3.8	-0.488	322	22.54	21.86	0.35	0.37
2500-3000	-3.8	-0.505	306	24.99	19.79	0.27	0.44	-6.1	-0.432	320	23.00	22.05	0.38	0.41
3000-3500	-6.2	-0.482	296	24.94	17.34	0.29	0.60	-8.2	-0.436	317	22.98	21.62	0.38	0.42
3500-4000	-8.8	-0.543	292	23.74	14.58	0.28	0.75	-10.5	-0.471	315	22.38	20.94	0.37	0.43
4000-4500	-11.6	-0.582	288	22.99	12.74	0.28	0.91	-12.9	-0.497	313	21.99	20.13	0.37	0.44
4500-5000	-14.7	-0.652	285	23.27	12.01	0.23	0.85	-15.7	-0.605	309	22.27	19.70	0.28	0.36
5000-5500	-18.0	-0.705	285	24.00	12.54	0.18	0.66	-18.8	-0.663	305	22.91	19.64	0.21	0.29
5500-6000	-21.7	-0.750	289	24.69	14.00	0.14	0.45	-22.5	-0.746	305	23.00	19.63	0.17	0.23
6000-6500	-25.8	-0.863	288	25.35	14.24	0.07	0.22	-26.4	-0.828	305	23.36	19.94	0.11	0.15
6500-7000	-30.1	-0.674	285	25.90	13.54	0.06	0.22	-30.6	-0.620	305	23.92	20.42	0.11	0.15
7000-7500	-34.5	-0.885	285	26.58	13.69	0.05	0.20	-34.6	-0.813	305	24.00	20.49	0.11	0.16
7500-8000	-38.5	-0.682	285	27.15	13.99	0.17	0.62	-38.5	-0.695	306	24.33	20.96	0.20	0.27

1997.10.03. 15 UTC

	Pécs							Szombathely						
Magasság m	Átl. hőm. °C	Átl. grad. °C/100m	Átl. szír. fok	Átl. szer. m/s	Átl. ⊥ szer. m/s	Scorer $1/km^2$	Scorer ⊥ $1/km^2$	Átl. hőm. °C	Átl. grad. °C/100m	Átl. szír. fok	Átl. szer. m/s	Átl. ⊥ szer. m/s	Scorer $1/km^2$	Scorer ⊥ $1/km^2$
Talaj-500	9.6	-1.127	330	7.18	7.08	-1.03	-1.06	11.2	-0.829	2	5.75	5.65	1.51	1.57
500-1000	5.7	-0.931	340	10.82	10.82	0.13	0.13	7.8	-0.911	351	10.44	10.44	0.20	0.20
1000-1500	2.2	-0.521	348	13.57	13.42	0.88	0.90	3.3	-0.778	342	14.94	14.74	0.31	0.32
1500-2000	-0.5	-0.562	343	13.43	13.40	0.82	0.83	-0.2	-0.673	340	16.61	16.28	0.39	0.41
2000-2500	-3.7	-0.691	340	14.02	14.02	0.52	0.52	-3.6	-0.655	340	14.97	14.67	0.52	0.54
2500-3000	-6.8	-0.502	340	14.73	14.73	0.80	0.80	-6.5	-0.498	337	13.36	12.92	0.98	1.05
3000-3500	-8.7	-0.345	340	15.74	15.74	0.94	0.94	-8.5	-0.367	332	13.02	12.26	1.33	1.50
3500-4000	-10.7	-0.446	333	16.67	16.57	0.71	0.72	-10.5	-0.429	327	14.20	12.93	1.01	1.22
4000-4500	-13.2	-0.522	327	18.05	17.64	0.52	0.55	-12.9	-0.497	325	16.37	14.67	0.67	0.83
4500-5000	-15.9	-0.562	325	19.31	18.69	0.42	0.45	-15.5	-0.553	326	18.75	17.00	0.46	0.55
5000-5500	-18.9	-0.620	325	20.16	19.52	0.34	0.36	-18.3	-0.610	330	20.96	19.52	0.32	0.37
5500-6000	-22.1	-0.674	325	21.47	20.79	0.25	0.27	-21.6	-0.662	333	23.03	21.92	0.23	0.25
6000-6500	-25.7	-0.782	325	22.40	21.66	0.17	0.18	-25.1	-0.759	335	25.01	24.00	0.14	0.15
6500-7000	-29.5	-0.764	325	23.10	22.41	0.16	0.17	-28.9	-0.778	335	26.89	25.81	0.11	0.12
7000-7500	-33.3	-0.766	328	24.20	23.72	0.15	0.15	-32.9	-0.802	335	28.68	27.52	0.09	0.09
7500-8000	-36.9	-0.628	330	25.34	24.99	0.22	0.23	-36.8	-0.729	335	30.56	29.32	0.11	0.12

1997.10.04. 09 UTC

	Pécs							Szombathely						
Magasság m	Átl. hőm. °C	Átl. grad. °C/100m	Átl. szír. fok	Átl. szer. m/s	Átl. ⊥ szer. m/s	Scorer $1/km^2$	Scorer ⊥ $1/km^2$	Átl. hőm. °C	Átl. grad. °C/100m	Átl. szír. fok	Átl. szer. m/s	Átl. ⊥ szer. m/s	Scorer $1/km^2$	Scorer ⊥ $1/km^2$
Talaj-500	8.8	0.821	311	4.27	4.22	34.32	35.02	9.5	1.312	188	3.19	2.90	78.14	94.50
500-1000	6.6	-0.742	320	6.22	6.22	2.10	2.10	7.4	-0.732	212	3.83	3.83	5.77	5.77
1000-1500	3.3	-0.587	328	7.00	6.92	2.80	2.87	3.7	-0.734	268	3.78	2.12	5.96	18.88
1500-2000	0.7	-0.479	332	7.37	7.20	3.26	3.42	0.2	-0.598	311	6.74	-1.06	2.97	99.00
2000-2500	-1.3	-0.322	338	8.59	8.16	3.19	3.54	-1.8	-0.242	323	10.53	-3.65	2.38	19.89
2500-3000	-2.8	-0.271	340	9.74	9.13	2.69	3.06	-2.6	-0.116	325	13.26	-5.12	1.77	11.88
3000-3500	-4.3	-0.335	336	11.40	10.92	1.79	1.96	-3.6	-0.290	325	14.63	-5.65	1.16	7.80
3500-4000	-6.2	-0.429	332	12.62	12.33	1.26	1.32	-5.4	-0.418	325	15.00	-5.79	0.90	6.07
4000-4500	-8.6	-0.515	330	13.91	13.68	0.88	0.91	-7.7	-0.488	327	15.78	-6.60	0.72	4.12
4500-5000	-11.3	-0.575	331	15.47	15.15	0.63	0.65	-10.2	-0.538	330	17.16	-7.95	0.55	2.57
5000-5500	-14.2	-0.592	335	16.93	16.36	0.50	0.54	-13.0	-0.580	330	17.91	-8.33	0.46	2.14
5500-6000	-17.2	-0.596	335	18.31	17.65	0.43	0.46	-16.0	-0.621	330	18.60	-8.65	0.39	1.80
6000-6500	-20.4	-0.709	335	19.60	18.90	0.27	0.29	-19.5	-0.756	331	19.49	-9.46	0.22	0.94
6500-7000	-24.0	-0.759	335	20.82	20.07	0.20	0.21	-23.3	-0.785	334	20.71	-11.00	0.17	0.61
7000-7500	-28.1	-0.846	335	21.98	21.19	0.11	0.11	-27.3	-0.819	337	21.44	-12.30	0.13	0.41
7500-8000	-32.4	-0.861	336	23.18	22.22	0.09	0.09	-31.5	-0.843	340	22.01	-13.37	0.11	0.30

16. ábra. A WinWord formátumú hullám előrejelzés

Amit nem szabad elfelejteni, hogy a hullámban emelkedő vitorlázó repülőknek a hullámban maradáshoz a saját helyzeti energiájukat kell felhasználni. Azaz, ha erős a szél, akkor hiába van nagy meteorológiai emelés a hullámban, a gépeknek is erősebben kell süllyedniük, hogy a széllel szemben egy helyben tudjanak maradni. Megfigyeléseink alapján a 20-30 m/s közötti szélsebesség esetén a hullám emelése és a gép süllyedése közötti különbség még általában 1-2 m/s-os emelést biztosít, de 40 m/s fölötti szélsebesség esetén a gépeket a szél kisodorja a hullámtérből, vagy nem bírnak emelkedni. Amennyiben a szél átlagsebessége nem éri el a 10 m/s-ot, nem jön létre hullám, illetve a hullám abban a rétegben, ahol a szélsebesség ez alá csökken, feloszlik. A pilóták elbeszélései alapján az ideális szélsebesség az a 15-30 m/s közötti, mert ilyenkor még elég gyorsan tudnak emelkedni, vagyis nem „fagynak meg" a gépben, és nem fogy el az oxigénjük.

Az eddig Magyarországon legmagasabbra emelkedő Hegedűs Lászlónak 8200 m magasra sikerült emelkednie, és 1.5 m/s-os emelést hagyott ott, mert már veszélyeztette az átrepülő gépeket, így le kellett szállnia. Ezen tapasztalatok alapján feltételezhető, hogy a kis (800-1000 m körüli) magyar hegyek fölött 10 km körüli, vagy annál magasabbra felnyúló hullámok is létrejöhetnek.

Az elkészített előrejelzés előfizetés után lekérhető az OMSz FTP szerveréről, vagy kívánságra elküldjük WinWord formátumban a megrendelőnek. Régebben sok megrendelést kaptunk, de amióta Dunakeszin majdnem mindenkinek megvan az 5000 m-es repülése (köztük Hegedűs László 8200 m-es magyar csúcsa is), azóta nem igénylik ezt a fajta előrejelzésünket.

Felhasznált irodalom

[1] FÖVÉNYI ATTILA, 1994: Alap előrejelzések készítése Grid és Temp adatok felhasználásával sportrepülők részére, Meteorológiai Tudományos Napok, Budapest, 1994.

[2] FÖVÉNYI ATTILA, 1995: Labilitási paraméterek előrejelzése UKMO LAM adatok felhasználásával és ezen előrejelzések hibái, Légkör, 1995/4 pp. 15-19.

[3] FÖVÉNYI ATTILA, 1996: Az 1995. évi termik előrejelzések objektív és szubjektív értékelése, Légkör, 1996/1 pp. 23-25.

[4] FÖVÉNYI ATTILA, 1996: Alacsonyszintű szignifikáns térkép készítése az OMSz Repülésmeteorológiai Központjában, Légkör, 1996/2

[5] FÖVÉNYI ATTILA, 1996: Termik előrejelzések készítése az OMSz Repülésmeteorológiai Központjában, Légkör XLI., 1996/3., pp. 25-30., OMSz, Budapest, 1996.

[6] ATTILA FÖVÉNYI, 1997: Visibility range analysis and forecast using data of automatic SYNOP stations, radars and NWP models, Annalen der Meteorologie No. 35, pp. 311-312, Offenbach am Main, Germany, 1997.

[7] ATTILA FÖVÉNYI, 1997: Making forecasts for sport aviation using ALADIN data, RC LACE Bulletin No. 3., 5 pages, Budapest, 1997.

[8] FÖVÉNYI ATTILA, 1997: Az 1996. évi termik előrejelzések verifikálása, Légkör XLII., 1997/1., pp. 36-37., OMSz, Budapest, 1997.

[9] FÖVÉNYI ATTILA, 1997: Az 1996. évi termik előrejelzések verifikálása, Az 1996. évi előrejelző tevékenység értékelése, OMSZ, IEÖO, Budapest, 1997.

[10] FÖVÉNYI ATTILA, 1997: Új módszer a maximum hőmérséklet előrejelzésére, Egyetemi Meteorológiai füzetek No. 10. pp. 107-110, Budapest, 1997.

[11] ATTILA FÖVÉNYI, 1998: New Method for Maximum Temperature Forecasting Using TEMP and NWP Model Data, RC LACE Bulletin No. 5, 5 pages, Prague, Czech Republic, 1998.

[12] FÖVÉNYI ATTILA, 1998: A légköri nedvesség és a magaslégköri hőmérséklet hatása a globálsugárzásra és a maximumhőmérsékletre Magyarországon, Az éghajlatváltozás és következményei, pp. 269-274, OMSZ, Budapest, 1998.

[13] FÖVÉNYI ATTILA, 1998: Az 1997. évi termik előrejelzések verifikálása, Légkör XLIII., 1998/1., pp. 35-36, OMSz, Budapest, 1998.

[14] FÖVÉNYI ATTILA-SÁNDOR VALÉRIA, 1999: A termik előrejelzése régen és most, pp. 22-28, Légkör XLIV., 1999/2., OMSz, Budapest, 1999.

[15] FÖVÉNYI ATTILA, 1999: Az 1999. évi termik előrejelzések verifikálása, pp. 32-33 Légkör XLIV évfolyam/4. szám, OMSz, Budapest, 1999.

[16] FÖVÉNYI ATTILA, 2000: A 2000. évi termik előrejelzések verifikálása, pp. 36-37 Légkör XLV., 2000/4. szám, OMSz, Budapest, 2000.
[17] ATTILA FÖVÉNYI, 2001: Decreasing of the error of maximum temperature forecast using NWP model and radiosonde data, Proceedings of Fifth European Conference on Applications of Meteorology, ECAM 2001, 24-28 September 2001, Budapest, Hungary, Theme 1 08/pp 1-7
[18] ATTILA FÖVÉNYI, 2001: Visibility range forecast using NWP model data, Proceedings of Fifth European Conference on Applications of Meteorology, ECAM 2001, 24-28 September 2001, Budapest, Hungary, Theme 1 P-01A pp. 1-2
[19] FÖVÉNYI ATTILA, 2001: A 2001. évi termik előrejelzések verifikálása, Légkör XLVI. 2001/4. pp. 31-32, Budapest
[20] FÖVÉNYI ATTILA, 2002: A 2002. évi termik előrejelzések meteorológiai elemeinek verifikációja, Légkör XLVII. évfolyam - 2002/4., pp. 30-31, OMSz, Budapest, 2002
[21] FÖVÉNYI ATTILA, 2004: A 2003. évi termik előrejelzések meteorológiai elemeinek verifikálása, visszatekintő 1996-2003, Légkör, XLIX. évf., pp. 33-35, OMSz, Budapest, 2004.
[22] FÖVÉNYI ATTILA, 2004: A 2004. évi termik előrejelzések meteorológiai elemeinek verifikálása, Légkör, XLIX. évf. 2004.3. szám, pp. 22-23., OMSz, Budapest, 2004.
[23] ATTILA FÖVÉNYI, 2005: Forecasting of visibility range. Proceedings of European Conference on Application of Meteorology 2005. Utrecht, Netherland, 12-16 September 2005.
[24] FÖVÉNYI ATTILA, 2005: A 2005. évi termik előrejelzések meteorológiai elemeinek verifikálása, visszatekintő 1996-2005. Légkör, L. évf. (2005/4. szám), pp. 26-27, OMSz, Budapest, 2005.
[25] FÖVÉNYI ATTILA, 2007: Egy, a repülésmeteorológia által használt maximum hőmérséklet előrejelző módszer, Légkör 52. évf., 2007.4. szám, 99. 10-16, OMSz, Budapest, 2007
[26] SMITH, RONALD B., 1979: The Influence of Mountains on the Atmosphere, Advances in Geophysics 21 pp. 87-230, Academic Press
[27] HMSO, 1994: Handbook of Aviation Meteorology, pp. 99-102., HMSO London
[28] HOLTON J. R., 1992: An Introduction to Dynamic Meteorology Third Edition, pp. 287-297., Academic Press New York, 1992.
[29] KONDRATYEV, K. YA., 1969: Радиационные характеристики атмосферы и земной поверхности pp. 222-224, pp. 318-321, pp. 383-395, Гидрометеорологическое издательство, Leningrad, 1969
[30] KONDRATYEV, K. YA., 1972: Radiation Processes in the atmosphere, pp. 32-33, pp. 37-44, pp. 78-88, WMO No. 309, World Meteorological Organization, 1972
[31] F. SÁNDOR VALÉRIA, SZALMA JÁNOS, 1982: Útmutató termik előrejelzéséhez, Kézirat
[32] SZALMA J., 1979: A termik kialakulásának sajátosságai és előrejelzésének lehetősége a Kárpát-medencében, OMSz hivatalos kiadványai XLVIII., pp. 42-51.

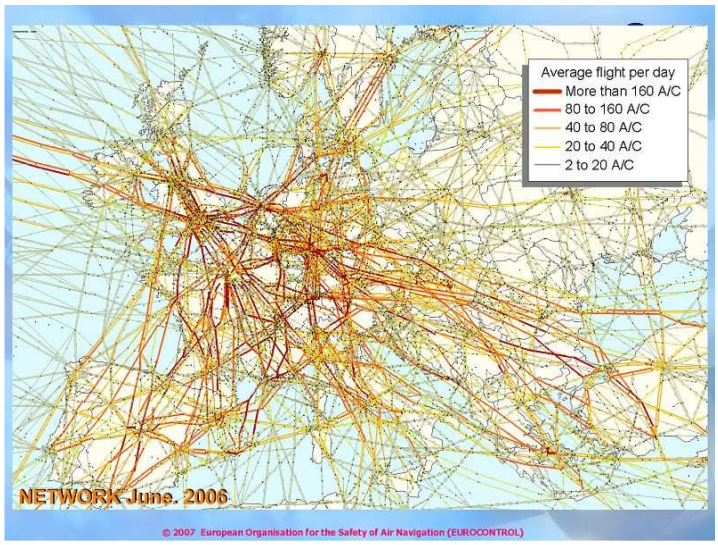
A cikk lektorálása folyamatban, lektorálás után kerül feltöltésre.

Halászná Tóth Alexandra – Somosi Vilmos

AZ ÁLLAMI LÉGIJÁRMŰVEK NEMZETKÖZI REPÜLÉSEINEK JOGI SZABÁLYOZÁSA

BEVEZETÉS

Az Országgyűlés 11/1998. (II. 20.), 59/1998. (X. 15.), 65/2001. (X. 5.), 94/2001. (XII. 21.) és 128/2004. (XI. 23.) határozataiban, illetve a Kormány 2188/2008. (XII. 29.) és 1071/2009. (V. 14.) határozataiban foglaltaknak megfelelően tevékenykedő erők, továbbá a magyar légtér igénybevételéről szóló 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet szerint a külföldi állami légijárművek részére kibocsátott átrepülési engedélyek alapján Magyarország légterét évente több mint 20.000 külföldi állami légijármű veszi igénybe.



1. ábra
Európai légi útvonal szerkezet és kapacitás mutatói (2006.)

A külföldi állami légijárművek vonatkozásában kibocsátott engedélyek számát a magyar katonai és rendőrségi állami légijárművek nemzetközi repüléseihez szükséges diplomáciai engedélyek is növelik. Ebből adódóan a nemzetközi és a hazai állami célú, országhatár átlépésével járó repülésekkel kapcsolatos engedélyezési eljárásrend olyan jogszabályi hátteret igényel, mely külpolitikai, nemzetbiztonsági, katonadiplomáciai, védelempolitikai, illetve honvédelmi szempontból is garantálja a Magyar Köztársaság szuverenitását.

A katonai felek részéről végrehajtott repülések többsége csapatmozgásnak minősül, melynek részleteit a határátlépéssel járó csapatmozgások engedélyezésének kormányzati feladatairól szóló 190/2000. (XI. 14.) Korm. rendelet határozza meg.

A NATO és EU tagállamok által végrehajtott nemzetközi katonai repülések közül hazánkat érintően az egyik legkiemelkedőbb az MH Pápa Bázisrepülőtéren települő, a Stratégiai Légiszállítási Képesség (Strategic Airlift Capability – SAC) keretében megalakított Nehéz Szállító Ezred (Heavy Airlift Wing – HAW) C-17 típusú légijárművekkel hadászati távolságú műveleti területekre végrehajtott szállítási feladata, melynek előzetes engedélyezési eljárásrendjében a magyar fél közvetlenül érintett.

2. ábra
Magyar állami felségjelzésű C-17 típusú légijármű

Ezek a légijárművek magyar állami repülőgépnek minősülnek, ezért a kialakított eljárásrend értelmében a szükséges diplomáciai engedélyeket az MH Összhaderőnemi Parancsnokság (a továbbiakban: MH ÖHP) továbbítja a Külügyminisztérium felé. Az MH ÖHP által követett eljárásrendet az üzembentartói szintű, a magyar állami légijárművek külföldi repülési engedélykérelmeinek ügyintézési rendjéről szóló 94/2009. MH ÖHP PK intézkedés tartalmazza.

A Külügyminisztérium alaprendeltetéséből adódóan felelős külképviseletei útján beszerezni az adott ország(ok) illetékes hatóságaitól, szerveitől a be-, illetve átrepüléshez szükséges engedélyeket. Az engedélyezés ügymenetét azonban jelentős mértékben befolyásolja, hogy a Magyar Köztársaságnak egyes országokban nincs külképviselete, így az engedélyek hosszabb és áttételes ügyintézéssel, közvetett módon szerezhetők be.

Ezen túlmenően az esetenként változó nemzeti engedélyezési eljárásrend változásáról szóló tájékoztatás hiányából vagy késedelmes megadásából fakadóan az MH ÖHP (illetve a C-17 esetében a HAW) pontatlan adatokat szolgáltat az engedélyező szerv felé, mely a repülési feladat elmaradását, illetve későbbi időpontban történő végrehajtását eredményezheti. A műveleti területre történő szállítási feladat azonban meghatározott időben és megalapozott katonai célból történik, melynek bárminemű késlekedése vagy elhalasztása komoly szövetségi következményekkel jár. Az így generálódó szövetségi konzekvenciák a C-17 típusú légijármű vonatkozásában azonban elsődlegesen a Magyar Köztársaságot, mint nyilvántartó államot érintik.

Az állami légijárművek nemzetközi repülései jogi szabályozásának, és a kialakult eljárásrend áttekintésére, illetve esetleges jövőbeni módosítására rávilágított továbbá az izraeli légierő 2010. március 17-én Magyarország légterében végrehajtott repülésének előzetes diplomáciai engedélyezési eljárása is.

A nemzetközi előírások alapján az adott állam alkotmányossági és szuverenitási szempontok figyelembevételével szabályozza a más állam légijárműveinek légtérbe történő be-, illetve átrepülését. Jelenleg követett általános szabály, hogy az államok a szárazföldi és vízi területük feletti légtérben teljes és kizárólagos felségjogot gyakorolnak. Hazánk vonatkozásában ez a Magyar Köztársaság Alkotmányában, a honvédelemről és a Magyar Honvédségről szóló 2004. évi CV. törvényben és a légiközlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvényben (a továbbiakban: Lt.) jelenik meg. Az Lt. 4. §-ának (2) bekezdése szerint:

„A Magyar Köztársaságot a magyar légtérben teljes és kizárólagos szuverenitás illeti meg."

A fentiekben megfogalmazott szuverenitás gyakorlása keretében a magyar állam joga a berepüléssel kapcsolatos kérelmek érdemben történő elbírása, melynek keretében lehetőség nyílik a kérelmek elutasítására. Nagyon fontos elem, hogy a diplomáciai engedély kérelmek elutasítását nem kell megindokolni, az az állam kizárólagos jogkörébe tartozik.

A szuverenitással kapcsolatos kérdések, és különösen a légtérrendészeti, illetve légtér-felügyeleti feladatok pontosítása az egységes európai légtér kialakítását célzó nemzetközi kezdeményezések vonatkozásában is felértékelődik. Az Európai Bizottság 2007. május 23-ai kezdeményezése alapján – az EUROCONTROL1 szervezésében – megkezdődött Európa légtérszerkezetének átalakítása, melynek eredményeként az európai kontinens bizonyos országai, valamint egyes észak-afrikai országok légterének légiforgalmi szempontú egyesítésére kerül sor. Az így kialakított, ún. funkcionális légtérblokkok (Functional Airspace Block – FAB) a légteret kilenc, országhatároktól független régióra osztják.

Az elképzelés szerint a funkcionális légtérblokkokban a tagországok a polgári légiforgalmi szolgáltatással összefüggő feladatok egymás közötti felosztásával racionalizálják a légtérszerkezetet és a légiforgalmi kapacitási mutatókat, növelve ezzel az Európai Unió légiközlekedési iparágának gazdasági mutatóit.

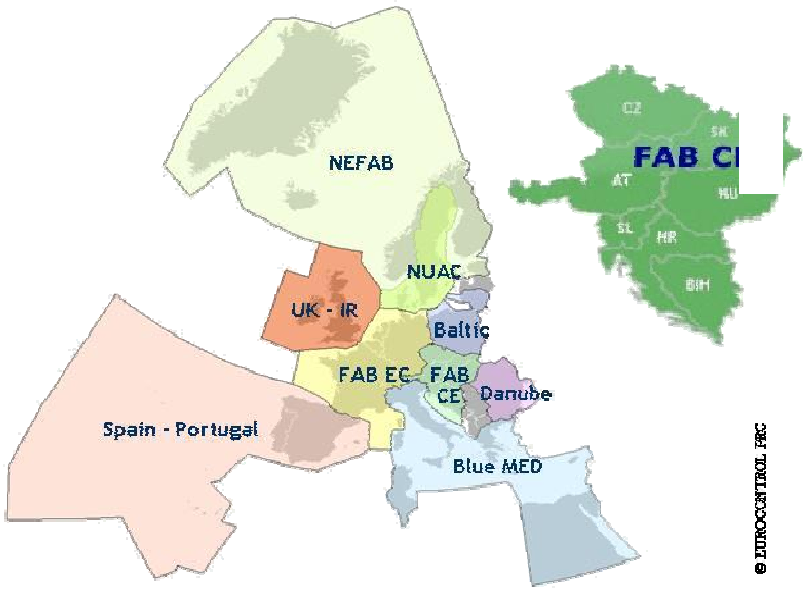
Az új dimenziók szerinti FAB környezetben kizárólag a polgári légiforgalom-szervezési feladatok újra-strukturálása és bizonyos polgári légiforgalmi szolgáltatási felelősségi körök delegálására kerül sor, mely – annak ellenére, hogy nem érinti az országok légterének szuverenitásával összefüggő felelősségi kérdéseket – közvetett módon hatást gyakorol a nemzeti és szövetségi vonatkozású állami célú légiközlekedési feladatok (különösen a légtérrendészet, légtérellenőrzés, a kiképzési és valós műveleti, továbbá a nemzetközi repülési feladatok) jövőbeni végrehajtására.

A Közép-európai Funkcionális Légtérblokk (Functional Airspace Block Central Europe – FAB CE) várhatóan 2012. évtől kezdődően Magyarország, Ausztria, Csehország, Szlovákia, Horvátország, Szlovénia, Bosznia-Hercegovina feletti ellenőrzött légiforgalmi légtér országhatároktól független régióját képezi, melyben az elképzelések szerint a polgári légiforgalmi irányítás a légiforgalmi kapacitási igények függvényében valósul meg.

[1] European Organisation for the Safety of Air Navigation – Európai Szervezet a Légi Közlekedés Biztonságáért

Ennek szellemében a polgári légiforgalmi irányítási felelősség, valamint a szuverenitás egymástól markánsan elkülönül, mely különösen az állami légijárművek határátlépésekor érezteti hatását.

A rugalmas légtérfelhasználás koncepció szellemében a FAB-ok megjelenése mellett további európai uniós törekvés a katonai kiképzési repülések végrehajtását biztosító, szintén az országhatárokon átnyúló légterek (Cross Border Area – CBA) kialakítása. A CBA-kban végrehajtott repülések (Cross Border Operations – CBO) így megosztott légvédelmi/katonai légiforgalmi irányítói felelősségi körben, a klasszikus országhatár sorozatos átlépésével történik.



3. ábra
Funkcionális légtérblokkok és a FAB CE

Az állami légijárművek nemzetközi repüléseihez szükséges engedélyek ügyintézésével összefüggésben mindenekelőtt elengedhetetlenül fontos az állami légijármű definíciójának pontos meghatározása. A magyar légijogban az állami légijármű fogalmát az Lt. 71. §-ának 2. pontja határozza meg az alábbiak szerint:

„állami légijármű: a honvédelmi, vámhatósági, rendőrségi és határőrizeti szervek céljára szolgáló légijármű;”

A fenti meghatározás nem tulajdonjogi, hanem funkcionális alapon közelíti meg a kérdést. Sokak által vitatott azonban, hogy ez a szűkített alkalmazási kör valóban lefedi-e a magyar állam légijárművel végzett állami feladatait, alaptevékenységeit (katasztrófavédelem, mentő és sürgősségi betegszállítás, stb.).

A funkcionális megközelítés ellenére nem általánosan elfogadott a katonai fél (így a Magyar Honvédség) által végzett, nem katonai légijárművel végrehajtott repüléseinek (pl. polgári légijárművel végzett személy- és hadianyag szállítás, légiutántöltés, stb.) fenti osztályozás alapján történő besorolása. Hasonlóképpen tisztázandó a közjogi méltóságok, illetve megkülönböztetett személyek (pl. uralkodók, köztársasági elnökök, NATO főtitkár, miniszterek, vezérkar főnökök, stb.) légiszállításával kapcsolatos diplomáciai engedélyezési körülmények.

Továbbra is a funkcionális elvű feladat végrehajtás gondolatmenetét követve a Magyar Honvédséget érintően így 6 témakörben van szükség a nemzetközi repülésekkel kapcsolatos engedélyezés-ügyintézési eljárásrend tisztázására, melyek az alábbiak:

- magyar állami légijárművek[2] nemzetközi repüléseihez szükséges (diplomáciai) engedélyek beszerzésének eljárásrendje (pl. C-17, AN-26, JAS-39 típusú légijárművek külföldre történő repülése, stb.),
- a Magyar Köztársaság légterének igénybe vétele[3] külföldi állami légijárművek által (pl. cseh légierő légijárműveinek Romániába történő átrepülése, stb.),
- a Magyar Honvédség külső együttműködővel történő nemzetközi szállításának eljárásrendje (pl. polgári légi fuvarozó bevonásával történő hadianyag szállítás, stb.),
- magyar állami légijárművel nem honvédségi célú repülések végrehajtása (pl. polgári személyek nemzetközi szállítása, stb.),
- Nyitott Égbolt Szerződés[4] (Open Sky) keretében végrehajtott repülési feladatokkal kapcsolatos engedélyezési ügyintézés,
- a NATO fegyveres légvédelmi készenléti erőinek határátlépéssel járó alkalmazása (pl. a Magyar Köztársaság Kormánya és Románia Kormánya közötti, a légtérrendészeti feladatokban történő együttműködésről szóló megállapodás kihirdetéséről szóló 4/2008. (I. 19.) Korm. rendelet szerinti repülések, stb.).

A HATÁLYOS SZABÁLYOZÁS

A Chicagói Egyezmény

A légtér nemzetközi jogi helyzetének szabályozására többször tettek kísérletet, az elmúlt évtizedek folyamán számos kétoldalú és többoldalú szerződést kötöttek. Ezek közül számunkra a nemzetközi légiközlekedés átfogó rendezését biztosító Chicagói Egyezményt[5] (a továbbiakban: Egyezmény) kell kiemelni, melyet Magyarországon az 1971. évi 25. törvényerejű rendelettel hirdettek ki. Az Egyezmény 3. bis cikke alapján:

„3. cikk

Polgári és állami légi járművek

a) Az Egyezmény kizárólag a polgári légi járművekre vonatkozik, az állami légi járművekre nem alkalmazható.

[2] Magyar Honvédség, Rendőrség, Heavy Airlift Wing repülő eszközei
[3] elsődlegesen a Magyar Honvédség repülőterein leszállni szándékozó vagy tartalék repülőtéri szolgáltatást igénylő légijárművek
[4] az 1992. március 24-én, Helsinkiben aláírt Nyitott Égbolt Szerződés kihirdetéséről szóló 2004. évi V. törvény
[5] az 1994. évi december hó 7. napján a nemzetközi polgári repülésről Chicagóban aláírt Egyezmény

b) A katonai, a vám- és a rendőri szervek céljára szolgáló légi járművet állami légi járműnek kell tekinteni.

c) A Szerződő Államok állami légi járművei csak külön államközi megállapodás, vagy esetenként kiadott engedély alapján és ezek feltételeinek megtartásával repülhetnek át más Szerződő Állam területe fölött, illetőleg szállhatnak le területén.

d) A Szerződő Államok kötelezik magukat arra, hogy az állami légi járművekre vonatkozó rendelkezések kiadásánál szem előtt tartják a polgári légi járművek biztonságos repülését."

Az Egyezmény kizárólag a polgári légijárművekre vonatkozik, de azért az állami légijárművek fogalmát is definiálja. A polgári és az állami légijárművek elhatárolása a szuverenitás tiszteletben tartása miatt szükséges. Az aláíró államok polgári légijárműveinek békés célú átrepülését a nemzetközi légiközlekedés fenntartása érdekében az Egyezmény szerinti alapelvek betartása mellett biztosítják, azonban az állami légijárművek esetében az állami szuverenitásból eredően minden szerződő állam maga állapítja meg azokat a feltételeket, amellyel megengedi vagy megtilthatja más állam állami légijárművének átrepülését területe felett, vagy leszállását területén lévő repülőtéren.

A légiközlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény

A légügyi törvényünk a magyar légtérben történő légiközlekedés szabályait keret jelleggel határozza meg, a legfontosabb garanciális szabályok mellett számos felhatalmazást ad további végrehajtási rendeletek megalkotására. Így van ez a magyar légtér igénybevételének szabályai esetében is:

„7. § (1) Külföldi állami légi járműnek a magyar légtérbe való berepüléséhez - a (3) és (4) bekezdésben foglalt kivétellel - a légiközlekedési hatóság a külpolitikáért felelős miniszter, a katonai légügyi hatóság, továbbá a külön jogszabályban megjelölt polgári és katonai nemzetbiztonsági szolgálatok hozzájárulásával ad engedélyt.

(2) A külföldi állami légi jármű számára kibocsátott egyszeri vagy többszöri be-, illetve átrepülési engedély nem mentesíti a kérelmezőt a jogszabályban előírt más engedélyek beszerzésének kötelezettsége alól.

(3) NATO tagország, valamint az Európai Unió tagállama állami légi járművének a magyar légtérbe való belépéséhez nem szükséges az (1) bekezdésben meghatározott engedély kérése. A NATO tagállam, valamint az Európai Unió tagállama állami légi járművének a magyar légtérbe való belépése a nemzetközi előírásoknak megfelelő repülési terv benyújtásával történik.

(4) A NATO műveleti alárendeltségű légvédelmi készenléti szolgálatot teljesítő külföldi állami légi járműnek feladata végrehajtásával összefüggésben repülési tervet nem kell benyújtania, a magyar légtérbe történő berepülését - a Kormány előzetes döntése alapján - a Magyar Honvédség Légierő Parancsnokság Ügyeletes Tábornoka engedélyezi.

8. § A magyar légtér igénybevételének, felügyeletének, az igénybevétel korlátozásának és tiltásának szabályait a Kormány rendeletben határozza meg."

A légügyi törvény a be-, illetve átrepülési engedélyezési eljárásra (a továbbiakban: diplomáciai engedélyezési eljárás) nem határoz meg részletszabályokat, mivel arról elegendő kormányrendeleti szinten rendelkezni. A 7. § (1) bekezdése főszabályként kimondja, hogy amennyiben külföldi állami légijármű kívánja a magyar légteret igénybe venni, úgy ahhoz a Nemzeti Közlekedési Hatóság Légiközlekedési Igazgatóság (a továbbiakban: NKH LI) által kibocsátott engedély szükséges.

A 7. § (1) bekezdés szerinti hatósági engedélyezés szervezeti vonatkozású jogállását és feladatait a Nemzeti Közlekedési Hatóságról szóló 263/2006. (XII. 20.) Korm. rendelet (a továbbiakban: Statútum r.) tartalmazza.

A Statútum r. 2007. július 1-jei hatállyal történő módosításával az NKH – a korábban a honvédelmi tárca alárendeltségében működő HM Katonai Légügyi Hivatal jogutód szervezeteként – felelős a polgári és katonai légügyi hatósági engedélyek kiadásáért. Mindezek alapján az NKH a közlekedésért felelős miniszter alárendeltségében működő integrált (polgári és katonai légügyi hatóság) szervezet, melynek működésére a honvédelmi miniszternek nincs közvetlen ráhatása.

A diplomáciai engedélyekkel kapcsolatos ügyek olyan bonyolult ügyek, amelyek eldöntéséhez a légiközlekedési hatóság ügyintézőjének, illetve vezetőjének szakértelme nem elegendő. Ezért a hatóság megkeresi a külügyi tárcát, a polgári és nemzetbiztonsági szolgálatokat, amely szervezetek az általuk gyakorolt hatáskörben véleményezik az adott be-, illetve átrepülési ügyet. Az érdemi döntést tehát az NKH LI hozza meg, amelyhez a fenti szervek az ügy tárgyához képest csupán egy kérdésben (pl. a nemzetbiztonsági szolgálatok abban, hogy a légtér igénybevétel nem jelent-e a Magyar Köztársaság részére jelentős veszélyt, nemzetbiztonsági kockázatot, stb.) foglalnak állást. Hangsúlyozandó, hogy az engedély kiadásának mindenképpen elengedhetetlen feltétele a fenti szervek megkeresése, és azok állásfoglalása.

A jogalkalmazás szempontjából indokoltan merül fel a kérdés, és véleményünk szerint a légiközlekedési szakemberek között is nehézséget okozhat annak eldöntése, hogy az engedélyezési eljárás közigazgatási hatósági eljárásnak minősül-e, és így a közigazgatási hatósági eljárás és szolgáltatás általános szabályairól szóló 2004. évi CXL. törvény (a továbbiakban: Ket.) hatálya alá tartozik-e.

Amennyiben a válasz igen, akkor alkalmazandóak-e rá a Ket rendelkezései, vagy megállapítható-e olyan különleges szempont fennállása, amely miatt a Ket.-ben foglaltak alapján részben vagy egészben ki kell venni a diplomáciai eljárást a Ket. hatálya alól. Fontos kiemelni, hogy a légiközlekedési hatóság eljárása során csak akkor lehet a Ket. előírásait alkalmazni, ha az közigazgatási ügyben jár el.

A diplomáciai engedélyezési eljárás írott szabályainak, valamint az engedélyezés gyakorlatának áttekintését követően körvonalazódik számunkra a válasz. Az engedélyezési eljárásban részt vevő ügyféli kör diplomáciai-nemzetközi jogi jellege vitathatatlan. Az általános és különös eljárási szabályok viszonyának, továbbá a diplomáciai engedélyezési eljárásfajtára irányadó különös eljárási szabályok áttanulmányozását követően a Ket. hatálya alól kivett vagy részlegesen kivett eljárások közé sorolható.

A hatályos szabályozás alapján a rövid ügyintézési határidők is az eljárás Ket. hatálya alatti tartásának indokolatlanságát támasztják alá. És akkor még nem is beszéltünk a jogorvoslattal összefüggő kérdésekről, valamint az eljárásban közreműködő szervezetek valódi szerepéről.

Mint ahogy az izraeli gépek 2010. március 17-ei átrepülése is bebizonyította, a jogalkalmazásban a fenti szabály gyakorlati alkalmazása számos gonddal jár. Álláspontunk szerint az ügymenet kizárólag adminisztratív eljárásnak tekinthető, mivel az eljárásban közreműködő szervek egyike sem tud ily módon ténylegesen dönteni a kérelemben foglaltakról, a feladat végrehajtásának szabályosságáról, illetve ténylegességéről (pl. átrepülés esetén valóban kérelem szerinti árut szállít-e a kérelmező és valóban abból a célból). A Külügyminisztérium hozzájárulásának szükségessége indokolt a jogszabályi kötelezettségből adódóan, így a külügyi tárca kizárólagos diplomáciai engedélykérelem-továbbítási szerepe a gyakorlatban, szintén nem elfogadható.

A fentiek alapján tehát megállapítható, hogy az egyértelműség érdekében mind tartalmi, mind pontosítási szempontok miatt indokolt a normaszöveg pontosítása.

A diplomáciai engedélyek beszerzése alól az Lt. aránylag tág körben tesz kivételt. Az Lt. 7. §-ának (3) bekezdése eltérést enged a diplomáciai engedélyek meglétét illetően a NATO szövetséges államok és az Európai Unió tagállamai részére, mivel számukra nem szükséges a diplomáciai engedélyek beszerzése. Ezen államok a nemzetközi előírások szerinti repülési terv benyújtásával vehetik igénybe a Magyar Köztársaság légterét.

A törvény a 7. §-ának (4) bekezdésében kiveszi továbbá a NATO műveleti alárendeltségű légvédelmi készenléti szolgálatot teljesítő állami légijárműveket is, amelyek kizárólag a Kormány előzetes döntése alapján az MH ÖHP Ügyeletes Tábornokának engedélyével repülhetnek be a magyar légtérbe.

4. ábra
A légvédelmi készenléti feladatokat is ellátó Mig-29 típusú légijármű kötelék felszállása

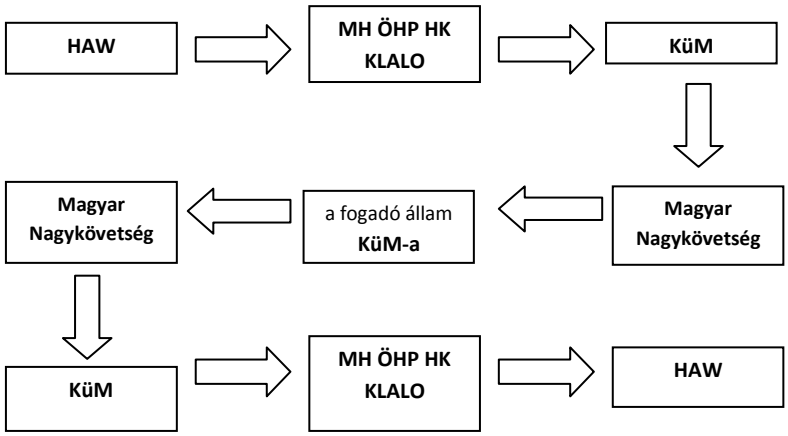
A légvédelmi készenléti erők szövetségi érdekek szerinti határátlépésének azonban nem csak a nemzeti szintű szabályozási háttér biztosítása szükséges, hanem a szomszédos NATO tagállamokkal kötött megállapodások is. Külön tárgyalandó azonban a nem szövetségi államokkal való

együttműködés, illetve a RENEGADE6 műveletek során alkalmazott nemzeti hatáskörbe delegált fegyveres légvédelmi tevékenység jogi háttere.

Érdekesnek mondható, hogy míg a jogalkotó a külföldi állami légijárművek magyar légtérbe való berepülésének eljárásrendjét jogszabályi szinten viszonylag részletesen meghatározza, addig a magyar állami légijárművek külföldre történő repüléséről egyáltalán nem rendelkezik. Nyilvánvaló, hogy a magyar állami légijárműnek az adott országban meghatározott szabályok szerint kell a külföldi légteret igénybe vennie, azonban a repülésekkel kapcsolatos hazai engedélyezési eljárásrend jogszabályi szinten nincs szabályozva.

A nemzetközi repülésekhez szükséges diplomáciai engedélyek beszerzését 2007. július 01-jét megelőzően a HM Katonai Légügyi Hivatal, majd a légügyi hatóságok integrációját követően az MH ÖHP a Külügyminisztériummal együttműködésben végezte, illetve végzi. A napjainkban is alkalmazott eljárásrend a törvényi szabályozás hiányának ellenére működik, azonban a magyar állami légijárműnek minősülő C-17 típusú légijárművel végzett nemzetközi érdekeltségű repülések, valamint a Közlekedési, Hírközlési és Energiaügyi Minisztérium vezetésével kidolgozás alatt álló, új légügyi törvény is indokolttá teszik az ügymenettel kapcsolatos szabályok jogszabályi szinten való mielőbbi rendezését. A honvédelmi tárca többször kezdeményezte az Lt. ez irányú módosítását, azonban ez általunk nem ismert okok miatt mindmáig elmaradt.

Az eljárásrend törvényi szinten való megjelenéséig az illetékes szervek bevonásával HM-KüM együttes utasítás kidolgozása, illetve együttműködési megállapodás előkészítése kezdődött meg, mely részletesen szabályozná az érintett felek jogait, valamint ez irányú kötelezettségeit. A Magyar Honvédségen belül azonban a tárgykör a korábban említett MH összhaderőnemi parancsnoki intézkedésben jelenleg is szabályozott, mely feltételezhetően a HM és a KüM közötti együttműködés szabályainak a megjelenítésével módosításra kerül. Mindemellett szükséges továbbá a Magyar Honvédség és a HAW közötti ügyintézés részleteinek rögzítése is, tekintettel arra, hogy a nevezett intézkedés hatálya a pápai bázison települő többnemzeti alakulatra nem terjed ki.



5. ábra
A HAW által kezdeményezett nemzetközi repülések jelenlegi engedélyezési protokollja

[6] Terrorista céllal eltérített, fegyverként alkalmazni kívánt polgári légijármű.

A magyar légtér igénybevételéről szóló 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet

A külföldi állami légijárművek magyar légtérbe való berepülésének engedélyezési eljárásrendjét a magyar légtér igénybevételéről szóló 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet részletezi az alábbiak szerint:

„3. § (1) Az Lt. 7. §-ában meghatározott esetben az egy alkalomra érvényes berepülési engedély (a továbbiakban: egyszeri berepülési engedély) megadása iránti kérelmet - az ország légterébe való belépést megelőzően legalább hét munkanappal - diplomáciai úton a Magyar Köztársaság Külügyminisztériumához kell benyújtani. A egyszeri berepülési engedély iránti kérelem adattartalmát az 1. számú melléklet tartalmazza.

(2) Az Észak-atlanti Szerződés tagállamai állami légijárművei számára, továbbá nemzetközi jogi kötelezettségvállalás alapján a magyar légtérbe történő berepüléshez - a (3) bekezdésben foglalt kivételekkel - legfeljebb 12 hónapra szóló, több alkalomra is érvényes berepülési engedély (a továbbiakban: többszöri berepülési engedély) adható ki. Az engedély megadása iránti kérelmet legalább 90 nappal a tervezett első berepülés végrehajtása előtt kell a Magyar Köztársaság Külügyminisztériumához diplomáciai úton benyújtani. A többszöri berepülési engedély iránti kérelem adattartalmát a 2. számú melléklet tartalmazza.

(3) A fegyvert, lőszert, robbanóanyagot vagy egyéb veszélyes anyagot szállító, a rádiótechnikai zavaró, illetve optikai vagy földtani leképező berendezéssel felszerelt külföldi állami légijármű magyar légtérbe való berepüléséhez csak egyszeri berepülési engedély adható ki.

(4) A Külügyminisztérium a kérelmet haladéktalanul továbbítja az NKH Légiközlekedési Igazgatóságának. Az Lt. 7. §-ában előírt hatósági hozzájárulás érdekében a Nemzetbiztonsági Hivatalt, az Információs Hivatalt, a Katonai Felderítő Hivatalt, a Katonai Biztonsági Hivatalt az NKH Légiközlekedési Igazgatósága értesíti.

(5) A kiadott hozzájárulások alapján a berepülési engedélyt az NKH Légiközlekedési Igazgatósága adja ki, és azt a Külügyminisztérium útján közli az engedély iránti kérelmet benyújtó ügyféllel.

(6) Az engedélyes az állami repülések céljára szolgáló repülőtéren tervezett leszálláshoz a repülés napját megelőzően legalább öt munkanappal a Magyar Honvédség Összhaderőnemi Parancsnokság (a továbbiakban: MH ÖHP) hozzájárulását kéri. A kérelemnek tartalmaznia kell a légijármű típusát, lajstromjelét és hívójelét, az állami repülések céljára szolgáló repülőtéren történő leszállás és az onnan való indulás tervezett időpontját és a repülés célját. A hozzájárulás megadásáról, illetve megtagadásáról az MH ÖHP két munkanapon belül dönt.

(7) Az ENSZ Biztonsági Tanácsa határozatának végrehajtását, illetve egyéb, a nemzetközi béke és biztonság helyreállítása, valamint válságkezelés érdekében tett nemzetközi kötelezettségvállalást teljesítő állami repülésre vonatkozó engedélyezést, valamint az állami repülések céljára szolgáló repülőtér igénybevételére vonatkozó engedélyezést sürgősségi eljárás keretében kell lefolytatni, kormányzati repülés esetén sürgősségi eljárást lehet lefolytatni. Sürgősségi eljárás esetén a kérelmező

a (2) és a (6) bekezdés szerinti kérelmét a tervezett repülés napját megelőzően legalább 48 órával előbb nyújthatja be.

(8) A berepülési engedély és az állami repülések céljára szolgáló repülőterek igénybevételére irányuló engedély kérelmezésére vonatkozó eljárás szabályait az AIP-ben (Lt. 72. §) közzé kell tenni."

A normaszövegben foglaltak alapján a külföldi állami légijárművek számára egyszeri vagy többszöri, ún. éves berepülési engedély adható ki. Hangsúlyozandó azonban, hogy bizonyos repülési, illetve szállítási feladat kizárólag egyedi engedély birtokában hajtható végre, melyet előzetesen a kijelölt polgári és katonai nemzetbiztonsági szolgálatok a hatáskörükbe tartozó kérdések vonatkozásában elemeznek.

A jogszabály értelmében az MH ÖHP-nek kizárólag az állami repülések céljára szolgáló repülőterek igénybevételéhez kapcsolódó repülések vonatkozásában van érintettsége az engedélyezési eljárás során. Természetesen a Magyar Honvédségnek a külföldi állami légijárművek hazai repülése alkalmával történő légtérrendészeti és légtér-felügyeleti szerepköre vitathatatlan.

A légiközlekedési hatóság eljárására a Korm. rendelet szigorú határidőket állapít meg. A joggyakorlatban problémaként merült fel azonban az eljárásban érintett társszervezetekre vonatkozó határidők hiánya.

Az Lt. és a kormányrendelet előírásai között ellentmondások

Az előbbiekben ismertetett részletszabályok összehasonlításakor megmutatkoznak a törvény és a kormányrendelet közötti ellentmondások, melyek rendellenességeket okozhatnak az eljárásrend következetes alkalmazása során. A félreértésre adó okok, illetve a jogorvoslatot igénylő elemek az alábbiak szerint összegezhetők:

1) Az Lt. 7. §-ának (1) bekezdése alapján a Külügyminisztérium hozzájárulása (is) szükséges az engedélyek kibocsátásához, míg a 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet 3. §-ának (4)-(5) bekezdésében foglaltak szerint a külügyi tárca „csak" továbbítja a kérelmet, illetve a légiközlekedési hatóság (NKH LI) által kiadott engedélyt.

2) Az Lt. 7. §-ának (3) bekezdése szerint a NATO, valamint az EU nemzetek állami légijárművei részére nem szükséges az engedélyek beszerzése, ahhoz elegendő a nemzetközi előírásoknak megfelelő repülési terv benyújtása. Ezzel szemben a kormányrendelet 3. §-ának (2) bekezdésében foglaltak alapján a NATO tagállamok állami légijárművei számára, továbbá nemzetközi jogi kötelezettségvállalás alapján a magyar légtérbe történő berepüléshez kiadható legfeljebb 12 hónapra szóló, több alkalomra is érvényes berepülési engedély.

3) A kormányrendelet 3. §-ának (3) bekezdésében megfogalmazott, fegyver, lőszer, robbanóanyag vagy egyéb veszélyes anyag szállítása, a rádiótechnikai zavaró, illetve az optikai földtani leképező berendezéssel felszerelt külföldi állami légijármű berepülésének kérelmét (valamint a repülését) a további részletszabályok hiányában és az alkalmazott eljárásrend alkalmazásával nem lehet minden kétséget kizáróan ellenőrizni.

4) A kérelemmel kapcsolatos általános ügyintézési határidőket kizárólag a kormányrendelet 3. §-ának egyes bekezdései tartalmazzák, azonban az érintett szervezetekre vonatkozó eljárási szabályok nem terjednek ki minden részletre (ki, kinek, mikor, meddig, hogyan, milyen úton és milyen tartalmi, illetve formai követelmények szerint továbbítja az engedéllyel kapcsolatos állásfoglalást).

BEFEJEZÉS

Mint ahogy az a fentiekben ismertetésre került, az állami légijárművek nemzetközi repüléseivel kapcsolatos engedélyezési eljárásrend számos megválaszolatlan kérdést rejt önmagában. A XXI. század intenzíven fejlődő légiközlekedési iparága, a növekvő nemzetközi légiforgalom, illetve a változó légtérszerkezetben végrehajtott növekvő állami célú légiközlekedés egyre indokoltabbá teszik az államhatár átlépésével járó előzetes jóváhagyási ügymenet felülvizsgálatát és szükségszerű módosítását.

A magyar állami légijárművek nemzetközi repülései maradéktalan végrehajtásának biztosítása, illetve a Magyar Köztársaság légtere szuverenitása megtartása érdekében nemzeti szinten is megjelenik a vonatkozó előírások következetes átalakítása. A szabályozók ez irányú pontosítása azonban nem kizárólag a honvédelmi tárca és a Magyar Honvédség kizárólagos érdeke, hiszen a bemutatott, komplex engedélyezési eljárásrendben érintett szervezetek szintén igényeket támasztanak a hatáskörüket érintő felelősségek egyértelmű(bb) meghatározásában.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] DR. MOYS PÉTER: NEMZETKÖZI LÉGIJOG (KÉZIRAT), BUDAPEST, 2006.
[2] 1971. ÉVI 25. TÖRVÉNYEREJŰ RENDELET A NEMZETKÖZI POLGÁRI REPÜLÉSRŐL CHICAGÓBAN, AZ 1944. ÉVI DECEMBER HÓ 7. NAPJÁN ALÁÍRT EGYEZMÉNY ÉS AZ ANNAK MÓDOSÍTÁSÁRÓL SZÓLÓ JEGYZŐKÖNYVEK KIHIRDETÉSÉRŐL
[3] A MAGYAR KÖZTÁRSASÁG ALKOTMÁNYA
[4] 2004. ÉVI CV. TÖRVÉNY A HONVÉDELEMRŐL ÉS A MAGYAR HONVÉDSÉGRŐL
[5] 1995. ÉVI XCVII. TÖRVÉNY A LÉGIKÖZLEKEDÉSRŐL
[6] 2004. ÉVI CXL. TÖRVÉNY A KÖZIGAZGATÁSI HATÓSÁGI ELJÁRÁS ÉS SZOLGÁLTATÁS ÁLTALÁNOS SZABÁLYAIRÓL
[7] 4/1998. (I. 16.) KORM. RENDELET A MAGYAR LÉGTÉR IGÉNYBEVÉTELÉRŐL

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Turcsányi Károly – Hegedűs Ernő

LÉGIDESZANTOK A MODERN KORBAN

(kiadás előtt „A légideszant II.” című könyv)

BEVEZETŐ GONDOLATOK

A második világháborúban a légideszantcsapatok alkalmazása a kibontakozó korszerű gépesített hadviselés egyik forradalmi újítása volt. Ez az újítás a modern korban, a gázturbinás repülőgépek és a már korszerűnek tekinthető gázturbinás helikopterek megjelenését követően vált igazán kiforrottá. „A légideszant II.” című könyvben a német, a brit, az amerikai, a szovjet illetve a magyar légideszantokat mutatjuk be a teljességre törekedve. A könyv tárgyalásmódja újszerű, mivel a légideszantok alkalmazási elméletein és az elméletek kidolgozóin túl nem csak a légideszant bevetéseket írja le, hanem bemutatja a légideszantok hadfelszerelésébe tartozó valamennyi lényeges haditechnikai eszközt és a szervezetek fejlődését is, egyes vonatkozásokban egészen 1945-ig visszatekintően. Közel 100 hadműveleti, harcászati és diverziós légideszant-művelet és 250 haditechnikai eszköz kerül ismertetésre, 200-nál is több fényképpel, vázlattal és térképmelléklettel kiegészítve. Olyan légideszant-műveletek részleteit és sok vonatkozásban újszerű kritikai elemzését is ismertetjük, mint a szovjetek afganisztáni inváziója és gerillák elleni harctevékenysége, az amerikai légideszantok vietnámi helikopteres légimozgékony műveletei, légideszantok bevetése az 1991-es és a 2003-as Öböl-háborúkban, illetve alkalmazásuk az amerikai és a szövetséges haderők 2001-től napjainkig zajló afganisztáni hadműveleteinél. Megismerheti az Olvasó a légideszantcsapatok szállítására és deszantolására alkalmazott szállító repülőgépeket és helikoptereket, személyi és teher ejtőernyőket, továbbá a deszantok által alkalmazott harc- és gépjárműveket és tüzérségi eszközöket is.

A légideszantcsapatok gépesítésének kérdése munkánk során kiemelten kezelt terület. A légideszantok ellátása hatékony fegyverekkel, gép- és harcjárművekkel, illetve az ilyen módon gépesített légideszantok újszerű szervezeteinek felállítása, alkalmazásuk elméletének kialakítása jól nyomon követhető a könyvben. A légideszantok fejlődését napjainkban a rendszeresítésre kerülő forradalmian új haditechnikai eszközök – elsősorban a billenő rotorú repülőgépként is ismert konvertiplánok, a rendkívül kis magasságú ugrás végrehajtására alkalmas ejtőernyők és a terepképes futóművel felszerelt, rövid fel- és leszállásra alkalmas repülőgépek, illetve egyes kellőképpen kis tömegű, de nagy harcértékű légideszant-harcjárművek – elterjedésének üteme határozza meg. Ezek bemutatása már a légideszantok lehetséges jövőjét vetíti az Olvasó elé. A könyvünk létrehozásába bevont közreműködők körét az első kötethez képest – a magyar vonatkozások ismertetése tekintetében – Dr. Ruszin Romulusz alezredes személyével bővítettük ki, de reményeink szerint számos további, az

ejtőernyőzés és a katonai repülés területén jelentős szakmai ismeretekkel rendelkező szakértőt is bevonunk még munkánkba.

A könyvünk anyagából a szakemberek számára is ízelítőt adó tanulmányunkban kísérletet teszünk a korszerű *légideszant szervezetek kialakulása előzményeinek és a légideszant-képességek fejlődésének bemutatására* a kezdetektől napjainkig. Ennek során alapul vesszük a deszant-képességek szempontjából legfontosabb időszakok meghatározását és leírását. Ezt követően bemutatjuk az ejtőernyős, a helikopteres és a repülőgépes légi szállítású légideszantok egy-egy jellegzetes, légi gépesítéshez – azaz harc- és gépjárművek alkalmazásához – kötődő műveletét, majd magukat a műveletek során alkalmazható harcjárműveket és a kijuttatásukra, illetve deszantolásukra alkalmas légi járműveket és teherdeszant-eszközöket. Tanulmányunkat egy, *a légi gépesített szervezetek páncélos-szervezet szerinti felosztása* modelljének ismertetésével zárjuk.

1. A LÉGIDESZANTOK KÉPESSÉGEINEK VÁLTOZÁSA NAPJAINKIG

A légideszant képességek – a kezdetek (1930) és a jelenkor(2007) között lezajlott haditechnikai és hadtudományi fejlődés, a biztonságpolitikai változások következtében – időszakonként jellemzően és jelentősen eltérő mértékben változtak. Tanulmányaink és a szakirodalom alapján négy időszakot különböztettünk meg, amelyek folyamán a bekövetkezett légideszant-képesség növekedést vagy csökkenést egyenes szakaszokkal ábrázoltuk és az időszakokat az ABC nagybetűivel jelöltük. Az így képzett időszakok az alábbiak:

A – a légideszantok létrehozásának időszaka (1930-1939)

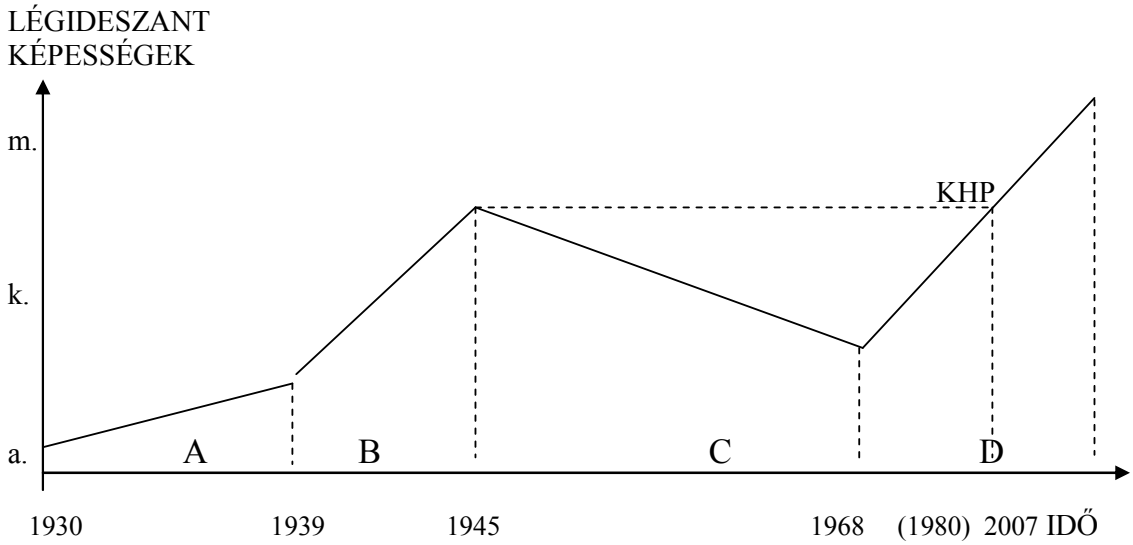
B – a második világháború időszaka (1939-1945)

C – a képességcsökkenés időszaka (1945-1968)

D – a modernkori fejlődés időszaka (1969-2007)

A légideszant képességek változásának folyamatát az 1. számú ábrán mutatjuk be, amelyhez korszakonként magyarázószöveget fűztünk.

A *légideszant szervezetek kialakításának időszaka* 1930-tól 1939-ig zajlott. A légideszant-fejlődés korai szakaszára általában a szervezetszerű deszanterők egyetlen formájaként létező ejtőernyőscsapatok diverziós feladatkörű vagy alegységszintű alkalmazására irányuló törekvések voltak jellemzők. Az időszak folyamán fokozatosan kialakult egy harceljárás, amely szerint a kis létszámú – önállóan főként diverziós feladatok végrehajtására alkalmas - ejtőernyős deszantokat **leszálló módszerrel deszantolt légiszállítású csapatokkal** egészítették ki, amelyek ekkor még rendszerint kijelölt könnyűlövész erők voltak.



1. sz. ábra: A légideszant képességek változásának időszakai és tendenciái (1930-2007)

A – a *légideszantok kialakulása; B – a légideszantok dinamikus fejlődése; C – a légideszantok válsága; D* - a *légideszantcsapatok haditechnikai eszközeinek és alkalmazásának dinamikus fejlődése, KHP – képesség helyettesítés pontja;* m. – magas képességszint; k. –közepes képességszint; a. – alacsony képességszint

Elsőként a szovjet haderő kötelékében kezdték meg légideszant-egységek és -magasabbegységek felállítását, a könnyű ejtőernyőscsapatok megerősítését légiszállítású és vitorlázógépes erőkkel[1]. Tuhacsevszkij szovjet katonai teoretikus vezetésével létrehozták a légideszantok összfegyvernemi szerepét megfogalmazó „mély hadművelet elméletét" amely szerint a légideszantok a gépesített erőkkel és a támogató légierővel szoros együttműködésben vívják harcukat, elősegítve a mély hadművelet megvalósítása érdekében bevetett gépesített csoport tevékenységét az ellenség védelmének áttörésében, illetve hidak és átkelőhelyek elfoglalásával, továbbá tartalékok előrevonásának megakadályozásával biztosítva annak kijutását a mélységbe. A légideszant csapatok harceljárását az 1936-ban kiadott Harcászati Szabályzat írta le részletesen[2]. Tuhacsevszkij – az általa **légi gépesítésnek** nevezett folyamat keretében - nem csak lövészcsapatok, hanem a **gépesített egységek deszantolását** is szükségesnek tartotta[3]. Német viszonylatban Guderian, a páncélos-hadviselés teoretikusa foglalkozott a légideszantok szerepével. A korszerű gépesített hadviselés elméletéről 1937-ben jelent meg „Achtung-panzer!" című könyve, amelyben említést tett a légideszant-erőkről is, amelyek szerinte alapvetően „ejtőernyős lövészek fedezete mellett légi úton szállított csapatok"[4]. Az elméleti munka a kis országok haderői esetében is nagy jelentősséggel bírt. Szentnémedy Ferenc vk. ezredes, szakíró az 1930-tól – a légideszantcsapatok megjelenésének első pillanatától kezdve – nyomon követte az új fegyvernem fejlődését, elemezte technikai és alkalmazási

[1] TURCSÁNYI Károly - HEGEDŰS Ernő: A szovjet légideszant fegyvernem alkalmazásának, szervezetének és haditechnikai eszközeinek fejlődése (1930-1945) Katonai Logisztika 2004. 4. sz.
[2] SZAGAJAK. P. – CIGANOK, A.: Légideszantok alkalmazása a Nagy Honvédő Háborúban. Hadtörténelmi Közlemények, 1962. 1. sz. 219. o.
3 Tuhacsevszkij válogatott művei. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1975. 301, 304 és 305. o.
[4] GUDERIAN, Heinz: Riadó! Páncélosok! A páncélos fegyvernem fejlődése, harcászata és hadműveleti lehetőségei. Kossuth, Budapest, 1999. 171. továbbá 233-234. o.

lehetőségeit. Katonai folyóiratokban megjelent nagy számú légideszant témakörű cikke alapján a magyar vezérkar igen hamar felismerte a légideszantok helyét és szerepét a korszerű gépesített háborúban.

A *légideszant szervezetek dinamikus fejlődésének és kiteljesedésének időszaka* 1939-től 1945-ig zajlott, lényegében a háború viszonyai közt. Az ejtőernyős-deszantcsapatokat támogató elemekkel (ejtőernyős tüzérség, **kerékpáros felderítő**, **motorkerékpáros szállító**, stb.) erősítették meg, ugyanakkor szervezetszerűvé váltak a *légiszállítású csapatok*, **kezdeti lépéseket tettek azok gépesítésére,** szállítóeszközeik egy részét pedig alkalmassá tették a *terepre történő deszantolásra*[5]. Megjelentek a *vitorlázógépes légideszantcsapatok*. Ezek eszközeit a könnyű deszantvitorlázó kategóriában, speciális szervezeti keretek között *rohamdeszant feladatokra*, a közepes és nehéz kategóriában gyalogsági, **gépesített-** és támogató **szervezeti elemek** *légi szállítására* egyaránt alkalmazták. Az *ejtőernyős mélységi felderítő* szervezetek mellett *a különleges műveleti erők egy részénél* is rendszeresen alkalmazott harceljárássá vált a légideszant módszerekkel történő kijuttatás a mélységbe. A *légideszant műveletek gyakorlati eredményessége* - tekintettel az ilyen műveletek végrehajtásának elsődleges feltételére, amely szerint *a deszantok csak a megfelelő körülmények együttállása esetén alkalmazhatóak* - igen széles skálán mozogtak, a látványos sikerektől a teljes kudarccal végződő műveletekig.

A *légideszant szervezetek visszaszorulására* az 1945-től 1968-ig zajló időszakon került sor. A klasszikus légideszantok háttérbe szorulásának fő oka a dinamikusan fejlődő légvédelem volt. A tömegesen dobott ejtőernyős deszantcsapatokat – a légvédelem eszközrendszerének gyors fejlődése következtében - a világ számos haderejében átszervezték[6]. Az ötvenes-hatvanas években a légvédelmi rakéták megjelenésével a nagyméretű teherszállító gépek alkalmazása légideszant feladatokra egyre kockázatosabb lett. Az ejtőernyős egységeket ezért többségében felszámolták, egy részüket mélységi felderítő vagy különleges műveleti csapatokká szervezték át. Megszűntették a légi szállítású szervezeteket is. Fokozatosan megszűntek a vitorlázógépes egységek. Kényszerűen előtérbe kerültek a helikopterek, amelyek ekkor még csak korlátozott szállítókapacitással bírtak. Az ugyancsak ebben az időszakban megjelenő gázturbinás-légcsavaros teherszállító repülőgéptípusok a korábbinál nagyobb mértékben igényelték a betonozott pályát. A leszálló deszanteszközök lehetőségei ez által csökkentek és **visszaszorult a nehéztechnika deszantolása**[7]. A folyamat a *légideszantok alkalmazása* területén is nyomon követhető. A koreai háborút egyfelől az első generációs helikopterek megjelenése, másfelől a második világháborús haditechnikai eszközök alkalmazása és a korlátozott mértékű légideszant-tevékenység jellemezte. A vietnami háború nagy számú, általában század szintű helikopteres légimozgékony műveletének kezdetleges voltára az amerikai FM 71-100-3 légimozgékony-hadosztály

[5] TURCSÁNYI Károly - HEGEDŰS Ernő: A német légideszant fegyvernem alkalmazásának, szervezetének és haditechnikai eszközeinek fejlődése (1930-1945) Katonai Logisztika 2005. 1. sz. és 2005. 3. sz.
[6] A modern haditechnika enciklopédiája, Guliver kiadó, Budapest 2001. 60-62. o.
[7] TURCSÁNYI Károly - HEGEDŰS Ernő: Bevezető gondolatok a légideszant és légi szállítású csapatok alkalmazásának, szervezetének és haditechnikai eszközeinek vizsgálatához Katonai Logisztika 2004. 12. évf. 4. sz. 234-248. o.

szabályzat hívja fel a figyelmet, amely szerint Vietnamban „a helikopterek sebessége, hatótávolsága és emelési teljesítménye miatt…illetve *a vietnami háború jellege miatt a légimozgékonyság lehetőségei nem bontakoztak ki teljes mértékben*”[8]. A légideszantok fejlődésének ezt az időszakát az 1967-ben a 173. légideszant-dandár által végrehajtott klasszikus ejtőernyős deszant-művelet zárta le (Operation Junction City). Az ejtőernyős szervezetek helikopteres légimozgékonnyá átszervezése ebben az átmenetinek tekinthető időszakban szintén jellemzőnek tekinthető.

A *légideszantcsapatok haditechnikai eszközei dinamikus fejlődésének időszaka* 1968 és 2007 között következett be (és napjainkban is tart). A haditechnikai fejlődés következtében fokozatosan megnőttek a légideszantcsapatok harcászati-hadműveleti lehetőségei, amelyek előbb elérték, majd a nyolcvanas évektől meghaladták a második világháború deszant-képességeit. A *légideszantcsapatok alkalmazása* területén tehát 1968-tól kezdődően fordulat következett be. Ekkorra befejeződött a légi szállító és támogató eszközök generációváltása, **megjelentek és elterjedtek** az első **légi szállítható** tüzérségi eszközök és **harcjárművek** is[9]. A hatvanas évek végére a növekvő teljesítményű *helikopterekre* építve egyre részletesebben kidolgozták a *légi mozgékonyság* módszereit, felállították és a kezdeti tapasztalatok alapján véglegesítették az első ilyen szervezeteket. A légimozgékonyság elveinek átvételekor a szovjet haderő kialakította a támogató fegyverzettel ellátott, páncélozott *rohamdeszant-helikopter* kategóriát, (Mi-24) amely a második világháború páncélozott-felfegyverzett rohamdeszant vitorlázóinak feladatait váltotta ki. A vietnami háború utolsó mozzanataként – a légideszant csapatok szervezeti elemeként - felállították az első *nehéz szállító*- (CH-47, CH-53), illetve közvetlen támogatásért felelős *harci helikopteres alegységeket* (AH-1), amelyek jelentősen megnövelték a deszantok általános tűztámogatásának és páncélelhárító képességének szintjét. 1968-ra a vietnami hadszíntéren már négy légideszant magasabbegység (1., 82., 101. és 173. ldt. ho.) elemei tevékenykedtek. A Khe Sahn térségében vívott légideszant harctevékenységek során a korábbi légimozgékony műveletek jellegét az AH-1 csatahelikopter megjelenése a korszerű légiroham tevékenység irányába változtatta meg, míg a C-130 típussal ekkortól folytatott, első LAPES teherdeszant-ledobási műveletek lehetővé tették a deszantok légi ellátását (Khe Sahn)[10]. *Ugyanakkor a légideszantok harctevékenységét továbbra is könnyű erők vívták, azok gépesítésére ekkor még az ebbe az irányba megkezdett lépések ellenére sem került sor.* Az első generációs csata-, illetve nehéz szállító helikopterek képessége és teljesítménye még szerénynek volt mondható. Ugyanakkor ekkortól az ejtőernyőscsapatok támogatását – az ejtőernyős teherdeszant-technika és a szállító repülőgépek fejlődésének eredményeképpen – nagymértékben elősegítették a hetvenes évektől lassan bővülő típusválasztékú, *ejtőernyővel deszantolható könnyű légideszant-harcjárművek, könnyű harckocsik, lövészpáncélosok, páncéltörő- és tarackos önjáró lövegek és önjáró-aknavetők*. Az *ejtőernyős-technika fejlődése a teherdeszant területén* ekkorra már lehetővé tette, hogy a támogató elemek teljes

[8] FM 71-100-3 US ARMY Field Manuals, Air Assault Operations, Introduction. 2. o.
[9] Az első korszerű eszközök – hasonlóan az első világháború végén megjelenő harckocsikhoz, csatarepülőgépekhez és deszant-ejtőernyőkhöz – megjelentek ugyan a vietnami háború végén, de már nem került sor kiterjedt alkalmazásukra.
[10] WRIGHT, R. K. – GREENWOOD, J. T.: Airborne Forces at War. Naval Institute Press, Annapolis, 2007. 148. o.

körét – köztük **könnyű harcjárműveket - ejtőernyővel deszantolhassák** a védettséget jelentő kis magasságon, a kismagasságú ejtőernyős kihúzás (Low Altitude Parachute Extraction System) módszerével (Panama, 1989). A *mélységi felderítés* és a *különleges műveleti tevékenység* területén előrelépést jelentett a nagymélységű behatolást biztosító harcászati siklóernyők széles körű elterjedése. A légimozgékony műveletek támogatása érdekében *több, korszerűsített* (megnövelt hajtómű-teljesítményű) nehéztechnika szállítására fokozottan alkalmas nagy kapacitású *nehéz szállítóhelikoptert* is alkalmaztak, amelyek mintegy a második világháború nehéz szállító-vitorlázógépeinek feladatait látták el és az ekkorra kifejlesztett *könnyű, légi szállítható páncélozott harcjárművek* szállítását-deszantolását is lehetővé tették. *A nehéz szállító helikopter-kategória rendszeresítésével, illetve a légideszant harcjárművek kifejlesztésével befejeződött a második világháború után kivont deszantvitorlázó-repülőgépek helyettesítése. (KHP -képesség helyettesítés pont.)* A közvetlen támogató helikopterek és a légideszant harcjárművek *együttes megjelenése* új légideszant alkalmazási elvek kialakulásához vezetett (Wiesel-koncepció). Kiemelkedő fejlődési lépés volt a szárnyvégi motorgondolák elforgatásával függőlegesen fel-és leszállni képes merevszárnyú repülőeszköz, a helikopter és a repülőgép előnyeit egyesítő *konvertiplán* rendszeresítése, mivel ez előrelépés a hatótávolság és a sebesség területén is. A *repülőgépeken szállított deszantok* tekintetében – a második világháborúban alkalmazott speciális futómű-szerkezetű terepre leszálló szállító-repülőgépekhez hasonlóan – a hetvenes évektől folyamatosan fejlesztették ki a *STOL paraméterekkel rendelkező, terepre leszállni képes szállítórepülő-típusokat*. A kimondottan légiszállítás feladataira létrehozott *gépesített légiszállítású egységeket* elsőként 1999-ben állították fel Stryker dandár néven. A kilencvenes évektől főként a két iraki háború folyamán kerültek alkalmazásra jelentős légideszant kötelékek. **Az ejtőernyős-, helikopteres- és repülőgépes légiszállítású deszantcsapatok területén egyaránt jelentkező gépesítési tendenciák** (BMD, Sharidan, Wiesel, Stryker) napjainkra a légideszant harceljárás offenzív alkalmazási koncepciójának kialakulásához vezetett. Az orosz teoretikusok - a légideszantcsapatok fejlődésével kapcsolatos követendő irányként – már a nyolcvanas években megfogalmazták Tuhacsevszkij légi gépesítés elméletének korszerű változatát. Ennek alapján „ahhoz, hogy **a légideszantcsapatok** teljesen kihasználhassák specifikus előnyüket, olyan **harckocsiegységeiknek és –alegységeiknek kell lenni, amelyeknek páncélozott járművei vannak**”[11]. Mindez olyan légi gépesítési elméletek megvalósítását vonta maga után, mint **az amerikai Air-Mech-Stryke (légi gépesített műveletek) elve**.

Az 1.számú ábra alapján megállapítható, hogy a légideszant szervezetek és harceljárások fejlődésében mindenkor *jelentős szerepet játszott ik* az új képességeket megjelenítő *haditechnikai eszközök* rendszeresítése. *Két időszak volt a légideszantok fejlődésében, amely magas szintű fejlettséget mutatott*: az egyik a *második világháború*, míg a másik az *Öböl-háborúk időszaka*. Csak

[11] SZKACSKO – SZERGEJEV – BELONOVSZKIJ – SISKIN – MARJUTYIN – VASZILIJEV: Harckocsik és harckocsicsapatok. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1982. 212. o.

ezt a két időszakot jellemezte az ejtőernyős, vitorlázógépes, illetve helikopteres, továbbá légi szállítású és különleges műveleti deszantok együttes alkalmazása szimmetrikus, összfegyvernemi környezetben.

2. GÉPESÍTETT LÉGIDESZANTOK MŰVELETEI NAPJAINK HÁBORÚIBAN

2.1. Amerikai gépesített légideszantok ejtőernyős műveletei Panamán (1989)

Az Amerikai Egyesült Államok hadereje 1989 december 20-án hajtotta végre Panama megszállását. Ennek során ejtőernyővel deszantolták a 82. légideszant hadosztály és a 75. Ranger-ezred, továbbá a tengerészgyalogság Navy SEAL és a szárazföldi haderő 7. különleges műveleti csoportjának erőit, amelyek ezt követően kiterjedt helikopteres légimozgékony műveleteket hajtottak végre. Az ejtőernyős deszantok által elfoglalt egyik repülőtérre egy könnyűlövész dandár erőit deszantolták repülőgépek leszálló módszerével. A légideszantok sikeresen együtt működtek a tengerészgyalogság és a szárazföldi haderő erőivel – egy zászlóalj-harccsoporttal és egy gépesített lövész hadosztállyal – aminek eredményeképpen lényegében egy nap alatt leküzdötték a panamai haderő szervezett ellenállását.

1989-ben bizonytalan belpolitikai helyzet jött létre az országban, ezért december 17-én George H. W. Bush elnök elrendelte a panama elleni hadművelet megindítását a csatornaövezet biztosítása érdekében. December 20-án elsőként a különleges műveleti erők kezdték meg tevékenységüket, amikor végrehajtották Tocumen nemzetközi repülőtér legfontosabb megközelítési útvonalának biztosítását. Kezdetét vehette a repülőtér ellen tervezett légideszant művelet. Az első Ranger-zászlóalj 500 katonája 01.00 órakor hajtott végre ejtőernyős ugrást a Panama Citytől északnyugatra 10 km távolságban, a Panamai-öböl part menti régiójában elhelyezkedő *Tocumen nemzetközi repülőtér* felett. Támogatásukra a repülőgépek **hátrasiklás nélküli löveggel felszerelt Jeep terepjárókat** is ledobtak. A repülőtér egyúttal a panamai légierő főhadiszállása is volt, ezáltal területét és légterét fokozottan védték. A repülőtéren 01.10-re gyülekeztetett ejtőernyős Rangerek negyed órányi tűzharc után birtokba vették a repülőtér betonjának közvetlen környezetét, ami – némi kockázatvállalás árán - lehetővé tette, hogy oda már 01.30-kor leszálló módszerrel érkezhessenek be C-130-ason szállított megerősítések. Ezekhez hasonlóan a 82. légideszant hadosztály dandár harccsoportjának később Tocumenre C-141-es szállító repülőgépeken beérkező elemei elméletileg már leszálló módszerrel is deszantolhatók lettek volna, ám a dandárparancsnok az ejtőernyős kijuttatás nagyobb sebessége miatt mégis inkább ez utóbbi mellett döntött[12]. Fél órával később a 82. légideszant hadosztály erőit – egy megerősített dandár harccsoport harcelőőrsét - dobott le ejtőernyővel a repülőtér fölé érkező néhány szállító repülőgép. Beigazolódott a dandárparancsnok félelme: a repülőgépek szórványos légvédelmi tüzet kaptak (ami a leszálló módszernél, a lassabban mozgó gépek esetében veszélyesebb lehetett

volna). Néhány gép megsérült, ám továbbra is repülőképes maradt. A ledobott ejtőernyősök kis mértékű szétszóródással hajtották végre harci ugrásukat. Néhány perc múlva a dandár harccsoport nehéz haditechnikai eszközeit – köztük **gépjárműveket és a könnyű harckocsikat** – szállították ki összesen 31 db C-141 típusú repülőgéppel Tocumen repülőtér fölé (míg az összes élőerő kijuttatása csak 20 db repülőgépet vett igénybe). A nehéz haditechnikai eszközök ledobása 02.05-kor ért véget, ezt öt perc múltán követte a kezelőszemélyzetek ledobása[13]. A **78 db HMMWV terepjáró** és 4 db 105 mm-es löveg mellett **8 Sheridan könnyű harckocsit is deszantoltak ejtőernyőve***l – kis magasságról, LAPES módszer alkalmazásával*, az ellenfél légvédelmi eszközeinek bármely érdemi behatása nélkül. Ez már lehetővé tette a repülőtéren tartózkodó deszantok számára, hogy megtisztítsák az objektum tágabb környezetét, felszámolva ezzel a még harcban álló kisebb csoportokat és a megmaradt légvédelmi tűzeszközöket is. Ennek köszönhetően már 05.00-kor egy jól biztosított repülőtéren hajthatta végre harci ugrását a dandár-harccsoport lövészállományának zömét képező további két zászlóalj, kihasználva az éjjeli sötétség utolsó pillanatait.

Egy másik Ranger-zászlóalj a *Rio Hato katonai repülőtér* elfoglalását kapta feladatul, amely szintén a Panamai-öböl part menti régiójában helyezkedett el, a fővárostól délkeletre mintegy 20 km távolságban. A Ranger zászlóaljakat 13 db C-130 Hercules szállító repülőgép jutatta ki Rio Hato fölé. A panamai erők nehéz géppuskákból nyitottak tüzet a szállító repülőgépekre. A gyenge légvédelmet hamar semlegesítette az amerikai közvetlen támogató repülőgépek tüze. Az 1300 ejtőernyősből álló Ranger-harccsoport ledobását követően megkezdte a repülőtér szűkebb környezetének biztosítását. **Harctevékenységüket nagymértékben segítették az ejtőernyővel ledobott, hátrasiklás nélküli löveggel felszerelt Jeep terepjárók**. A rövid tűzharc során a zászlóalj 34 fő halott veszteséget okozott a panamaiaknak, akik közül 260 főt foglyul ejtettek. Eközben maguk is 2 fő halott, illetve 27 fő sebesült veszteséget szenvedtek. A kis magasságú ejtőernyős ugrás, a nagy tömegű személyi felszerelés és fegyverzet, és a betonra landolás miatt szenvedett kisebb sérüléseket (bokaficam) 35 fő különleges műveleti katona. A rangerek rövid harctevékenységének lezárultát követően a repülőtér fölé érkeztek a 82. légideszant hadosztály egy dandárját – mintegy 2700 fő élőerőt, támogató fegyverzetet és **HMMWV terepjárókat** – szállító repülőgépek, amelyek ejtőernyős ledobással deszantolták fedélzetükről az erőket és eszközöket. A 82-esek ledobását követően már a repülőtér távolabbi környezetének biztosítása is lehetségessé vált.

Tocumen repülőtérről UH-60-as helikopterek a 82. légideszant hadosztály egy zászlóalját juttatták ki a Paitilla mellett elhelyezkedő *Viejo* térségébe. Ezen a helyen a panamai haderő egy megerődített támpontja állt, amely egy gépesített zászlóaljnak és különleges műveleti erőknek adott otthont. Nagy intenzitású tűzharcot követően a légideszant erői 10.50-re felszámolták az ott tapasztalható ellenállást, majd – a La Commandancia főhadiszállás felszámolása érdekében – azonnal tovább haladtak a főváros felé. A **Sheridan könnyű harckocsik** és a Ranger zászlóalj erői szárazföldi lépcsőként – illetve kis

[12] WRIGHT, R. K. – GREENWOOD, J. T.: Airborne Forces at War. Naval Institute Press, Annapolis, 2007. 168. o.
[13] Uo. 170. o.

mértékben a könnyű helikopterek által biztosított légimozgékony képességre hagyatkozva - követték őket ugyanebben az irányban.

Szintén Tocumen repülőtérről szálltak fel 08.30-kor azok a helikopterek, amelyek Panama City-től észak-nyugatra, hegyvidéki terepen elhelyezkedő *Tinajitas* megerődített támpont elfoglalása érdekében szállították ki a 82-esek egy másik zászlóalját. A helikopterek erős légvédelmi tüzet kaptak, amikor megközelítették a kedvező elhelyezkedéssel – egy hegy tetejére – telepített támpont közelében kiszemelt leszálló zónájukat[14]. Néhány hajózó megsebesült, ám helikoptert végül nem veszítettek. Kirakást követően a deszant a panamai haderő két kisebb alegységét semmisítette meg a támpontnál és 14.33-ra biztosították a területet. A Tinajitast sikeresen elfoglaló zászlóalj erejű helikopteres légimozgékony deszantok megerősítésére Tocumen repülőtérről egy **Sheridan harckocsikkal támogatott ejtőernyős zászlóaljat** indítottak útba könnyű gépjárműveken. Az előrenyomulás során az élen haladó Sheridan harcjármű egy hídhoz ért, ahol a panamai erők egy úttorlaszt emeltek. A Sheridan szakasz megállt, majd az ejtőernyősök járműről szálltak és megkezdték a megerődített támpont többirányú megközelítését. A panamaiak tüzet nyitottak a hídfőben támpontként berendezett épületekből. A felfedett tűzeszközökre a gyalogságot támogató harckocsik nyitottak tüzet nehéz géppuskáikból és 152 mm-es lövegeikből. Az ellenség tűzeszközeinek szisztematikus elhalgattatása után a gyalogság átfésülte az épületeket, majd eltávolította az úttorlaszt[15]. A harccsoport ezt követően folytatta támadását Tinajitas felé.

A 82-esek és a Ranger-zászlóalj főváros felé előretörő egyesült erőinek a panamai haderő vezérkarának központi épületét, a *La Comandancia*-t kellett bevenniük. Harcukat hatékonyan támogatták az elsőként Panamában bevetett AH-64 csatahelikopterek, de a városharc helyszűkében lévő terepviszonyai között igen nagy hasznát vették a különleges műveleti erők gyakran az utcákba is berepülő könnyű helikoptereinek is. A főparancsnokság környékén komolyabb ellenállásba ütköztek, ezért az amerikai légierő 422 bombát dobott le a területre, számos épületet jelentősen megrongálva ezzel. Ennek ellenére a panamai haderő főhadiszállásán egészen 17.30-ig kitartottak a védők. Az épületeket súlyos közelharc árán kellett bevenniük a könnyű légideszant és különleges műveleti csapatoknak. A támadás során a mélyen az utca legalsó szintjére behatoló könnyű helikopterek esetenként 20 méter távolságból tartották tűz alatt a támadás alatt álló épületeke. A könnyű helikopterek által nyújtott tűztámogatás rendkívül hatékonynak bizonyult, ám a páncélvédettséggel nem rendelkező eszközök közül egyet végül megsemmisítettek a panamaiak légvédelmi eszközei. (Végül az egész hadművelet során három könnyű helikopter semmisült meg.) Sokkal kisebb kockázatvállalás mellett, a helikoptereknél hatásosabban támogatták a könnyűlövész erők városharcát a **152 mm-es löveggel rendelkező Sheridan könnyű harckocsik**.

A délelőtt folyamán a légideszantok minden irányból megkezdték Panama City támadását, melynek során számos fontos támpontot és bázist kapcsoltak ki a város körül. Élerőik behatoltak a

[14] WRIGHT, R. K. – GREENWOOD, J. T.: Airborne Forces at War. Naval Institute Press, Annapolis, 2007. 170. o.

városba és támadást intéztek a panamai haderő legfontosabb vezetési pontja (La Comandancia) ellen. Ugyanezen a napon 01.00 órakor 13 000 amerikai katona kezdte meg *partraszállását* a Csatorna-övezetben már amerikai ellenőrzése alatt álló területein. A légideszantok által elért kezdeti sikerekre – a kulcsfontosságú pontokon tevékenykedő panamai erők gyors kikapcsolására, illetve a fontos átjárók birtokbavételére - támaszkodva támadásuk hamar teret nyert. A harcok még néhány napig folytatódtak, jelentősebb szervezett ellenállás azonban már nem volt tapasztalható.

2.2. Szovjet gépesített légideszantok helikopteres művelete Etiópiában (1978)

Etiópia és Szomália Ogaden-sivatag birtoklásáért lezajlott konfliktusában alkalmaztak helikopteren kijuttatott gépesített légideszantokat az etióp erőket támogató szovjet és kubai szövetségesek. A műveletre 1978. március 5-én Genasen város térségében került sor. A műveletben szovjet részről egy légideszant zászlóalj, Szpecnaz alegységek és egy közepes- és nehéz szállító helikopterekből álló helikopter ezred erői vettek részt[16]. A helikoptereken kijuttatott gépesített légideszantok a Kara Marda hágón át Jijiga város irányába támadó kubai főerők műveletét támogatták az ellenfél védelmi rendszerének átkarolásával és részleges bekerítésével.

A szomáliai haderő 1977 júliusában támadta meg Etiópiát, jelentős területeket elfoglalva az Ogaden sivatagban. A katonai segítségnyújtás keretében Etiópiába szovjet és kubai hajókon, illetve szovjet légihídon beérkező 3000 szovjet és kubai katonai tanácsadó (helikopter- és vadász pilóták, légideszant- és különleges műveleti erők tagjai, harckocsizók, légvédelmi- és tábori tüzérek, illetve a műveletek vezetéséért felelős tábornok és törzse) és 18500 kubai katona nagy mennyiségű haditechnikai eszközre – korszerű légierőre és harckocsi csapatokra – támaszkodva nyújtott támogatást az Ogaden sivatagba behatoló szomáliai erők visszaszorításához. 1978 februárjában került sor az ellentámadásra, amelynek fő erőit a kubai csapatok, szárnybiztosítását az etióp erők adták. A légi fölényről főként szovjet pilóták által vezetett vadász és támogató repülőgépek, illetve harci helikopterek gondoskodtak. A szomáliai védelmet sikeresen áttörték a hatékony légi-földi tűztámogatás mellett támadó kubai harckocsizó- és gépesített erők, amelyek ezt követően megkezdték az ellenfél üldözését. A hegyekbe visszavonuló szomáliai haderő egy védelemre rendkívül alkalmas terepszakasz megszállásával – Jijiga város előterében - megállította a kubai előrenyomulást a Kara Marda hágónál. A hegyvidéki terepen megkapaszkodott védők ellen a támadás sikeres folytatása a jelentős kubai-szovjet haditechnikai- és létszámfölény ellenére is elmaradt.

Szárazföldi támadással a szomáliai védelmi állás a hegyek miatt nem volt átkarolható. A kialakult helyzetben a szövetséges erőket irányító szovjet katonai vezetés a légifölény kihasználásában és egy erre alapozott helikopteres légideszant műveletben látta a megoldást. Egy szovjet pilótákkal tevékenykedő, 20 Mi-8 és 10 Mi-6 helikopterrel felszerelt szállító helikopterezred 70 BMD-1

[15] GRANGE – WASS – LIEBERT – JARNOT – HUBER – SPARKS: Air-Mech-Stryke. Asymmetric Maneuver Warfare for the 21st Century. Turner Publishing Company, Paducah, 2002. 100. o.

páncélozott lövészszállító harcjárművet és AszU-57 páncélvadászt, illetve kezelőszemélyzetként és támogató gyalogságként harcba vetett élőerőt juttatott ki több fordulóval a Jijiga térségében védő szomáliai csapatok mögöttes területére, egy Genasen városa melletti leszállózónába 1978 március 5-én. A *nagy távolságra, hegyeken keresztül* végrehajtott légi szállítást nagy mértékben elősegítette, hogy **a harcjárműveket a helikopterek belső terében szállították** (ami javítja a repülési feltételeket és csökkenti a légellenállást, növelve ezzel a hatótávolságot). A Jijigától mintegy 30 km-re elterülő leszállózónában nem ütköztek jelentősebb ellenállásba a légideszantok. A gépesített légideszant harccsoport kirakását és gyülekeztetését követően megkezdte támadását Jijiga felé, melynek során megsemmisítették a Genasenben települő kisebb szomáliai erőket is.

A légideszantok kirakásukat követően néhány órán belül megkezdték a Jijiga térségében települő szomáliai erők támadását, miközben a kubai erők is újra támadásba lendültek a Kara Marda hágónál. A részben bekerített, két irányból támadott szomáliai erők három nap múlva – miután mintegy 3000 fős, halottakban és sebesültekben mért veszteséget szenvedtek el - elhagyták hágónál kiépített védelmi állásaikat és gyors visszavonulásba kezdtek[17]. Ezt követően a kubai-etióp-szovjet csapatok mintegy 350 km-en át üldözték ellenfelüket és kiszorították annak erőit Etiópiából.

2.3. Repülőgépes leszálló légideszant-műveletek Nyugat-Irak repülőterein

Március 25. és április 11. közt a szövetséges haderő *különleges műveleti zászlóaljakból és légi szállítású megerősítésekből álló* légideszantokat juttatott ki a fővárostól 100-150 km-re nyugatra, az egymáshoz közeli *Asad és H1 repülőterekre*, *összességében ezred erővel*[18]. A deszantok feladata a Bagdadot nyugat felé (Szíria irányába) elhagyó autópálya elvágása volt Baiji és Tikrit térségében, emellett le kellett zárniuk a Bagdadból Jordániába vezető utat, továbbá a Haditha-gát elfoglalásával és oltalmazásával biztosítaniuk kellett az iraki erőket üldöző szövetséges főerők Tigris-menti előrevonási útvonalát.

Március 25. és április 3. között az amerikai 75. Ranger ezred 1. és 3. zászlóaljának részeit, illetve légi szállítású megerősítéseket deszantolták a sivatagban a *H1 jelzésű repülőtér* elfoglalására. 25-én éjjel *egy Ranger századot* deszantoltak a repülőtér környékére. Három Chinook helikopter szállította a deszantot a repülőtér melletti sivatagi leszállózónába, fedélzetükön mintegy 100 fő különleges műveleti katonával és a szállításukhoz szükséges **könnyű terepjáró járművekkel**[19]. A század – gépjárműves megközelítést követően - elfoglalta álcázott megfigyelő állásait a repülőtér körül és

[16] ZICHERMAN István : Az orosz ejtőernyős alakulatok története. Anno kiadó, Budapest, 2006. 168. o. GRANGE – WASS – LIEBERT – JARNOT – HUBER – SPARKS: Air-Mech-Stryke. Asymmetric Maneuver Warfare for the 21st Century. Turner Publishing Company, Paducah, 2002. 99. o.

[17] GRANGE – WASS – LIEBERT – JARNOT – HUBER – SPARKS: Air-Mech-Stryke. Asymmetric Maneuver Warfare for the 21st Century. Turner Publishing Company, Paducah, 2002. 83, 85-86. és 99. o.

[18] Ezeket a légideszant műveleteket első lépcsőben bevetett különleges műveleti erők és az azokhoz második lépcsőben deszantolt hagyományos erők összességéből álló deszantok hajtották végre. A tisztán különleges erők által végrehajtott repülőtér-elfoglalások nem a deszantok fő feladatát képezték, mindössze a második, megerősítő lépcső beérkezésének előfeltételét teremtették meg. Összességében sem az erők struktúrája, sem a mérete, sem a feladat nem teszi indokolttá, hogy tisztán „különleges műveleti tevékenység", vagy különleges műveleti deszantok kategóriába soroljuk ezt a három – egymással a közös feladat miatt szorosan összefüggő – klasszikus légideszant műveletet.

[19] MICHELETTI, Eric: Special Forces: War Against Saddam Hussein. Histoire and Collections, Paris, 2006. 82. o.

megkezdte az objektum felderítését. Március 27-én éjjel *egy újabb Ranger századot* deszantoltak ejtőernyővel a repülőteret körülvevő erők megerősítésére. Három C-17-es szállító repülőgép dobott század erejű ejtőernyős deszantot a H-1 repülőtér térségében[20]. Az esetleges légvédelmi tűz elkerülése érdekében a repülőgépek 160 méter magasságban dobták le a nagy mennyiségű felszereléssel ugró ejtőernyős katonákat, akikkel egy légideszant műszaki csoport is együtt ugrott. Az ugrózóna sziklás-köves jellege miatt az éjjeli, felszereléses ugrást végző katonák a szokásosnál nagyobb arányban szenvedtek különféle töréses lábsérüléseket. A H1 repülőtér térségében deszantolt két századnyi erő már lehetővé tette az objektum gyors elfoglalását. Az ejtőernyős deszantok gyülekezését követően az amerikai csoportosítás elfoglalta a repülőteret, amelynek betonját a légideszant-műszakiak megtisztították és előkészítették a megerősítő lépcsők fogadására. A 3. Ranger zászlóalj egy további századát deszantolták leszálló módszerrel a H-1 repülőtérre, megerősítve a már ott tartózkodó különleges műveleti erőket. A repülőtérre *felfegyverzett könnyű helikopterek* is érkeztek, hogy hatékony és azonnal elérhető közvetlen légi támogatást biztosítsanak a támadásban részt vevő könnyű gépesített erőknek[21]. További megerősítésként, leszálló módszerrel szállították a repülőtérre az *1. Ranger zászlóalj erőit is.*

A H1 repülőtér elfoglalása és jelentős erőkkel történő biztosítása lehetőséget teremtett *gépesített megerősítések légi úton történő fogadásá*ra is. Április 2-án a **3. gyaloghadosztály 2-70 harckocsi ezredének C századát C-17-es szállító repülőgépek fedélzetén, leszálló módszerrel deszantolták Tallil légibázisrról a H1 repülőtérre**. **Összesen 10 db M1 harckocsit, 3 db M113 lövészpáncélost és hét egyéb gép- és harcjárművet** – *köztük két üzemanyag szállító járművet - deszantoltak a repülőgépek* a H1-re[22]. A gépesített harccsoport deszantolása érdekében 15 fordulót hajtottak végre a C-17-es szállító repülőgépek. A légi úton szállított tartálykocsikkal a harckocsik nagy mélységű támadó műveletének biztosítására egészítették ki a gépesített deszant lépcső állományát. A páncélozott harccsoport páncélozott csatlakozott az *1. Ranger zászlóalj* **könnyű terepjáró gépjárművekkel felszerelt** állományához, a továbbiakban annak alárendeltségében tevékenykedett[23]. Az így létrejött - **páncélozott harcjárművekből és könnyű gépesített különleges műveleti erőkből álló - megerősített zászlóalj-harccsoport** megkezdte támadó műveletét, amelynek végcélja Baiji és Tikrit városok védelmének megtörése és az azokon keresztül futó 1-es főút feletti ellenőrzés megszerzése volt. A harccsoport mintegy 160 kilométert tett meg Baiji és Tikrit térségéig, ahol elvágta a Szíriába vezető utat, és megakadályozva a Bagdadból nyugat felé menekülő kisebb katonai kötelékek átjutását a szomszédos országba. A csoport április 24-ig tevékenykedett a térségben.

[20] INGRAM, Jeffrey D.: Where is the Heavy-Light Organization in the Army 's Future Force? School of Advanced Military Studies, Fort Leavenworth, 2005. 30. o.
[21] JONES, Robert W.: Team Tank: Armor in Support of Special Operations. Veritas, 2005/4. sz. 69-72. o.
[22] U. o. 19.-21. o.
[23] INGRAM, Jeffrey D.: Where is the Heavy-Light Organization in the Army 's Future Force? School of Advanced Military Studies, Fort Leavenworth, 2005. 30. o.

3. A LÉGIDESZANTOK GÉPESÍTÉSÉNEK CÉLJAIT SZOLGÁLÓ HADITECHNIKAI ESZKÖZÖK

3.1. Harcjárművek deszantolására alkalmas teherejtőernyő-rendszerek

A tömeges deszantként bevetett ejtőernyőscsapatok támogatását – az ejtőernyős teherdeszant-technika és a szállító repülőgépek fejlődésének eredményeképpen – nagymértékben elősegítik a hetvenes évektől ejtőernyővel deszantolható könnyű légideszant-harcjárművek, könnyű harckocsik, lövészpáncélosok, páncéltörő- és tarackos önjáró lövegek és önjáró-aknavetők rendszeresítése. Az ejtőernyős-technika fejlődése a teherdeszant területén napjainkra lehetővé teszi, hogy a támogató elemek teljes körét – köztük könnyű harcjárműveket - ejtőernyővel deszantolhassák. A szovjet haderő a hatvanas években fejlesztette ki a *nagy tömegű harcjárművek deszantolásának közepes magasságról végzett, rakétákkal fékezett körkupolás teherdeszant módszerét*. A fém szerkezetű rakodólapon elhelyezkedő harcjármű felett – a tömegközéppontban - egy keret található, amelyhez nagy teherbírású heveder csatlakozik. A heveder mások végén helyezkednek el a teherdeszant rendszer fő kupolái, míg középrészére fékezőrakétákat erősítenek. A deszantolt harcjármű tömegétől függően 4-10 db 18,5 méter átmérőjű teherernyő-kupolát erősítenek fel a hevederre. Egyetlen nagy kupolához képest a több kupola alkalmazása a gyorsabban végbemenő nyitási folyamat miatt előnyös, azonban a rendszer minimális nyitási magassága így is 3-600 méter (az alkalmazott kupolák számától függően). A teherdeszant-rendszer ledobásánál az első, 75 m^2 felületű nyitóernyőt egy 4 db 65 m^2 felületű második nyitóernyő-fokozat követi, majd ezt követően megtörténik a fő ejtőernyők nyitása. A süllyedési sebességet a fő ejtőernyőrendszer 54 km/h sebességre (15 m/s) csökkenti. Ez a sebességcsökkenés még nem elegendő a biztonságos földet éréshez és a gyakran harcjármű belső terében deszantolt kezelőszemélyzet testi épségének megóvásához, ezért a földfelszín felett 12-14 méter magasságban – egy hasonló hosszúságban lelógó, huzalon függő érzékelő földet érését követően – a harcjármű felett a teherhevederen 15 méter magasságban elhelyezett fékező rakéták is megkezdik működésüket. Ennek következtében a földet érési sebesség már csak 10-12 km/h (2-3 m/sec), amit az alkalmazott amortizátor-lap már hatékonyan csökkenthet[24]. A módszer kétségtelen előnye, hogy képes olyan mértékig lassítani az ejtőernyővel deszantolt harcjárművet, ami lehetővé teszi a személyzet belső térben történő deszantolását és az eszköz szinte azonnali harcba vetését. Hátránya ugyanakkor a rakéták működtetésével járó fény-és hőhatás, illetve a több kupolából álló szerkezet. Kiterjedt teherdeszant-ejtőernyőrendszer nyílási folyamatából fakadó jelentős minimális dobási magasság. Mindez nem felel meg napjaink NATO követelményeinek. Azonban a jövőben ez a rendszer is fejlődhet: az ejtőernyő kupolaanyagok fejlődésével azok tömege, vastagsága és ezzel nyílási ideje is csökkenhet, emellett várható az ejtőernyő kupolák nyílási folyamatát jelentősen meggyorsító rakétás

[24] TÓTH Lóránd: Ejtőernyős deszant. Zrínyi Kiadó, Budapest, 1986. 60. o.

nyitásának alkalmazási is – amit napjainkban a könnyű repülőgépek mentőernyőinél már kiterjedten alkalmaznak. Ezekkel az új konstrukciós és anyagszerkezeti megoldásokkal a teherdeszant rendszer minimális nyitási magassága a jövőben jelentős mértékben csökkenthető.

A légvédelem ellen részleges védettséget jelent a kis magasságon, a kismagasságú ejtőernyős kihúzás módszerével (*LAPES - Low Altitude Parachute Extraction System*) végzett teherdeszant[25]. A módszer lényege, hogy a megfelelő sík terepszakasz felett 3-10 méteres magasságban kis sebességgel elrepülő (áthúzó) szállító repülőgép teherteréből energiaelnyelő amortizátorlapra (airdrop platform) szerelt terhet húznak ki ejtőernyővel. Az alkalmas sík terület felett 180-240 km/h-s sebességgel átrepülő szállító repülőgép raktérből egy 1,2 m átmérőjű nyitó ejtőernyőt engednek ki, amelynek feladata a megadott kidobási pont elérésekor elektromos kapcsolással szabaddá tett, 10 m átmérőjű fő teherejtőernyő nyitása. A fő teher ejtőernyő – a repülőgép padlójába épített kiemelhető görgősor segítségével - már képes a teher kihúzására a raktérből. A kihúzásról és a vízszintes sebességkomponens minimálisra csökkentéséről a fékernyő, míg a leérkezési sebességkomponens lecsökkentéséről az energiaelnyelő amortizátorlap gondoskodik. A módszer előnye – a kis dobási magasságból fakadó, ellenfél légvédelmével szembeni fokozott védettség mellett - a nagy teljesítményű szállító-repülőgépek alkalmazhatóságában mutatkozik meg a terepre történő deszantolásnál. Hátránya, hogy a földet érésnél fellépő jelentős erőhatás nem teszi lehetővé a harcjármű személyzet belső térben történő deszantolását. (Egy példaként: egy 4500 kg tömegű teher 230 km/h sebességgel, 5 méter magasságról végzett LAPES ledobásánál 12,5 g terhelés lép fel, ami a teher 1 tonnával történő növelésekor 17,5 g értéket érhet el, míg a dobási magasság 1 méterrel növelésekor elérheti a 20 g értéket[26].) Hosszú távon a LAPES teherdeszant rendszernél a kismagasságú, szétszóródásmentes dobást megoldó személydeszant-konténerek megjelenése is várható[27].

3.2. Szállító helikopterek és lehetséges utódaik, a konvertiplánok

A szovjet légideszantok haditechnikai eszközei között a hatvanasas évek elején megjelenő, majd a kilencvenes években kivont *Mil Mi-6 nehéz szállító helikopter* méreteit és teljesítményét tekintve a világon a legnagyobb helikopter volt. Legnagyobb felszálló tömege 42,5 tonna, míg a legnagyobb szállítható hasznos tömeg belső térben 12 tonna volt. Ez a teheremelési teljesítmény - a nagyméretű tehertérajtóval ellátott 12x2,65x2 méter belméretű teherkabinnal együtt - már lehetővé tette jelentősebb tömegű légideszant harcjárművek szállítását. *E típus létrehozása képezte alapját a BMD koncepciónak, amely szerint az ejtőernyős és a helikopteres légideszant szervezeteket ugyanazzal a 7 tonna tömegű harcjármű családdal gépesítik.* A helikopter törzse hagyományos félhéjszerkezetű,

[25] DOMBI Lőrinc: Selyemkupolák: fejezetek az ejtőernyő történetéből. Zrínyi, Budapest, 1993. 103. o. továbbá TURCSÁNYI Károly - VASVÁRI Ferenc: Szógyűjtemény a vezetés-szervezés, a logisztika, a haditechnika területeiről. NATO szakkifejezések és meghatározások szógyűjteménye AAP-6 (V) alapján. ZMNE, Haditechnikai tanszék, Budapest, 2000. 118. o.

[26] HUNTER, H. J. – WUEST, M.J.: Földközeli, légi-személyzet ledobás. AIAA. 1989-0887-PC. In: Ejtőernyős Tájékoztató, 1997. évi 1. sz.

szegecselt, ötlapátú fő- és négylapátú farokrotorral rendelkezett. A főrotor főtartója acélcső, amelyre a fém lapátprofilok illeszkednek, átmérője 35 méter. Két, egyenként 4100 kW (5600 LE) teljesítményű hajtóművét a kabin fölött, oldalt helyezték el. A közel 10000 liter tüzelőanyag a törzsben belső tartályokba és a kabin két oldalán elhelyezett két külső tartályba volt tölthető. Tricikli elrendezésű futóművei nem behúzható, robusztus kialakításúak voltak. Gazdaságosság, sebesség és hatótávolság szempontjából rendkívül fontos, hogy ennél a típusnál a szállított harcjármű *belső térben* került elhelyezésre, ami garantálta a szállítás közbeni kis légellenállást. Ennek köszönhetően legnagyobb vízszintes sebessége teljes terheléssel 300 km/h, míg hatótávolsága terheletlenül 1450 km, fél terheléssel 650 km. Teljes terheléssel a helikopter hatótávolsága drasztikusan, 350 km-re csökkent (emiatt is fontos a gazdaságos repülést lehetővé tevő belsőteres harcjármű-szállítás lehetősége). Az egyébként kedvező hatótáv- és sebesség értékeket egy *segéd szárnyfelület* alkalmazásával érték el, ami azonban – a rotor leáramlás és a szárny áramlási rendszerének egyes üzemmódokon (például függőleges elemelkedésnél) jelentkező kedvezőtlen kölcsönhatása miatt - számos aerodinamikai probléma forrása is lett.

A Mi-6 megépítését követően – a szállított légideszant harcjárművek tömegének növekedése következtében - a Mil tervezőirodára egy közel kétszer nagyobb teheremelési teljesítményű helikopter létrehozására kényszerült. Ez a korszerűsített repülőeszköz lett a *Mil Mi-26 nehéz szállító helikopter*. Szolgálatba állítására 1983-ban került sor. A típusnál a Mi-6 helikopter sárkányszerkezetét használták fel kisebb módosításokkal: a leárnyékolásra hajlamos segéd szárnyfelületet elhagyták és a külső tartályok elhagyásával, illetve a kisebb méretű tartókra támaszkodó nem behúzható futóművekkel csökkentették a légellenállást. A helikopter gyártástechnológiában a nyolcvanas évekre bekövetkezett változások jól nyomon követhetők a korszerűsített típuson. A Mi-26 korábbinál közel kétszer nagyobb, egyenként 8300 KW-os (11300 LE) teljesítményű új hajtóműveket kapott. A főrotor átmérője három méterrel kisebb lett, mivel a rotorlapátok száma nyolcra növekedett. A korszerűsített rotorlapátokban megtartották a nagy szakítószilárdságú acélból készült csőszerkezetű főtartót, azonban a lapát többi részét már korszerű Nomex méhsejtszerkezetű anyagból készítették, felületét üvegszálas műgyantával borították. Az új, ötlapátos farokrotor üvegszálból készült. A rotoragyat kovácsolt titánötvözetből készítették. Az új típusú reduktor tömege a Mi-6 helikopternél alkalmazottnak a felét sem éri el (holott kétszer akkora hajtómű teljesítményt továbbít a rotorok felé). *A megnövelt hasznos terhelés maximálisan 22 tonna, ami képessé teszi a legnagyobb tömegű légideszant harcjármű légi szállítására is.* A korábbinál kétszer nagyobb terhelés következtében – a légellenállás jelentős csökkenése, a feltölthető üzemanyag mennyiségének 20%-os növelése és a hajtómű gazdaságosság növekedése ellenére is - hatótávolsága terhelés nélkül 800 km-re, *teljes terheléssel 200 km-re csökkent*. *A típussal tehát megvalósították a nagy tömegű belső teher szállításának képességét, ugyanakkor ennek eredményeképpen jelentősen csökkent a hatótávolság*. Habár teheremelő képessége

[27] Uo.

növekedett, a maximális sebesség – a segédszárny elhagyása miatt – valamivel alacsonyabb értékre adódott. Napjainkig mintegy 300 darab Mi-26 helikoptert gyártottak le.

A *Bell/Boeing V–22 Osprey konvertiplán* (billenőrotoros repülő eszköz) egyesíti magában a helikopterek és a szállító repülőgépek kedvező tulajdonságait. A billenőrotoros repülő eszköz mintegy kétszer gyorsabban, háromszor nagyobb távolságra képes másfélszer nagyobb terhet szállítani, mint a helikopterek, ugyanakkor függőlegesen száll fel és le, így nem igényel repülőteret. A konvertiplán további előnyös tulajdonsága – az igen zajos, és így nagy távolságról felderíthető helikopterekhez képest – a kétharmaddal alacsonyabb zajszint és a nagyfokú, jelentős túlterheléseket is elviselő manőverező-képesség. A forradalmian újszerű Bell/Boeing V–22 Osprey első repülésére 1989-ben került sor, teljes fejlesztési folyamata azonban még hosszú időt igényelt. Az első példányok csapatpróbájára 1997-ben került sor, majd – egy katasztrófát követően elvégzett jelentős számú módosítás, a hiányosságok kiküszöbölését követően - 2002-ben folytatódott. A sériagyártás 2005-ben – tizenhat évvel az első repülés után - kezdődhetett meg. Az Osprey alkalmazása más-más változatokkal valósul meg a szárazföldi haderő (UV-22), a tengerészgyalogság (MV-22), a haditengerészet (HV-22), illetve a légierő (CV-22) kötelékében. A V-22 sárkányszerkezete jórészt szénszál erősítésű epoxigyanta alapú kompozitból készült, amellyel a hagyományos anyagokhoz képest jelentős súlycsökkentést értek el. A gép félszárnyai végén egy-egy 6150 LE teljesítményű Rolls-Royce Allison AE1107C gázturbina helyezkedik el. A hajtóművek a 11,6 méter átmérőjű, kettős üzemű, kompozit anyagú - a terhelések elviselésére rugalmasságuknál fogva alkalmas, ugyanakkor kis tömegű - rotorokat hajtják meg. A hidraulika-rendszernél a tervezők a jelenleg alkalmazottnál magasabb, 280 bar nyomást választották, amellyel csökkenteni lehetett a munkahengerek, csőhálózatok méretét és tömegét. A magasabb nyomás miatt és a súlycsökkenés érdekében a hidraulika-csöveket acél helyett titánból készítették. A konvertiplán személyzete három fő, 24 felfegyverzett katonát, illetve 7,37 méter hosszú, 1,8 méter széles és 1,83 méter magas - a CH–46-os helikopterrel azonos méretű - belső teherterében 4,5 tonna hasznos terhet képes szállítani 370 km hatótávon, 440 km/h maximális földközeli, illetve 550 km/h nagy magasságú sebességgel. (Ezek az adatok 150-200%-kal kedvezőbbek a kiváltani kívánt CH-46 helikopterénél.) Az MV-22 tengerészgyalogsági változat két kiengedhető fegyverzeti konzollal rendelkezik, egyikben egy M61 Gatling gépágyú, a másikban Stinger levegő-levegő rakéták függesztő-pontja található. Az oldallövész, vagy a lenyitható hátsó rámpán elhelyezhető fegyverzet lőállásai napjainkban kerülnek kialakításra. Az oldalablakokba helyezett géppuskák mozgatása jelenleg problematikus, mivel a tüzelés az emelkedő és a vízszintes repülési üzemmód hajtóműgondola- és rotor-állásától függően, eltérő pályán, csak korlátozott szögtartományban lehetséges. A fegyverzet mozgástartományát ezért több üzemmódú ütközőkkel kell határolni. Az Osprey fejlesztésének jelenlegi állására jellemző, hogy a tervezőknek több területen nem sikerült elérni a kitűzött célokat, így a gép képességei elmaradnak a várttól. Jelenleg a gép súly- és terhelhetőség problémákkal küszködik. A tervek szerint 9 tonna rakomány szállítására kellett volna alkalmasnak lennie, ez a célkitűzés azonban a gyakorlatban nem

valósulhatott meg. A konvertiplánnak még nincs a szárazföldi haderő igényei szerint kialakított változata. Szárazföldi üzemeltetés esetén a hasznos terhelhetőség csökkenését eredményezi, hogy a bonyolult mechanikus szerkezet - amely a hajófedélzeti tárolás igényei szerint a félszárnyak behajtogatását végzi – itt felesleges tömeget jelent. (A típus „összecsomagolt" állapotban sem fér el egyik teherszállító repülőgép szállítóterében sem, ezért e képességének a légi szállíthatóság szempontjából nincs jelentőssége.) A V-22 konvertiplán üres tömege a tervezett 14,5 tonna helyett 15,5 tonna lett, maximális felszálló tömegét viszont – a szerkezetre ható erők és a repülési tulajdonságok miatt - 27 tonnáról 25-re korlátozták. Az eredetileg tervezett 6,8 tonna helyett mindössze 3,2 tonna külső függesztésű teher szállítására képes. Mivel első generációs eszközről van szó – annak minden kezdeti problémájával együtt – a második generációnál prognosztizálható a paraméterek jelentős javulása. Hasonló paraméter-javulás várható egy kizárólag a szárazföldi haderő igényei szerint kialakított változat rendszeresítése esetén is. Az UH-60-ast a V-22 konvertiplán minden tekintetben leválthatja. A V-22 típust a CH-46 helikopter leváltására hozták létre.

3.3. Terepképes futóművű STOL szállító repülőgépek

A *Boeing* által létrehozott kísérleti STOL szállító repülőgép, az *YC-14-es*, először 1975-ben emelkedett a levegőbe. A felsőszárnyas gázturbinás repülőgép 35 tonnás szállítókapacitása és 107,5 tonnás maximális felszálló tömege alapján a közepes szállító repülőgép kategóriába sorolható. A Boeing a felső szárnyfelület megfúvatás (upper-surface blowing - USB) technológiáját választotta a STOL képességek minél hatékonyabb megvalósítása érdekében. Az így hatékonyan megvalósított Coanda-effektus a kis (le- és felszálló) sebességnél megvalósított hatékony felhajtóerő-termelést, míg a szuperkritikus profil alkalmazása - a nagy sebességnél mutatkozó alacsony légellenállás miatt – az utazósebesség magas szinten tartását és az alacsony fajlagos fogyasztást biztosította. Ugyanakkor a kis sebességű üzemmódokon földközeli repülésnél problematikus áramlási jelenségek mutatkoztak, így a kísérletek során kiütköztek az USB eljárással megvalósított STOL rendszer korlátai. A káros áramlások csökkentése érdekében a szárny alsó felületén áramlásterelő lapokat helyeztek el. Problémát jelentett az is, hogy az USB eljáráshoz kapcsolódó esetleges káros interferenciák elkerülésének figyelembe vételével végezték el a vezérsíkok pozícionálását és méretezését, ami viszont – különösen kis sebességnél - a kormányzás hatékonyságának csökkenéséhez vezetett. A **330-570 méteres le- és felszálló-úthossz** a C-130-as 1200 méteres paramétereinek mindössze a fele-negyede volt. Habár hasznos terhelése 35 tonna illetve 150 fő volt, **a STOL-követelményeket mindössze 12,5-15 tonna hasznos terhelés mellett volt képes teljesíteni**. A két nagy kétármúsági fokú, 227 kN tolóerejű hajtómű 810 km/h maximális, illetve 720 km/h utazósebességet tett lehetővé. Az 5134 km-es hatótáv a stratégiai szállítási feladatokat is lehetővé tette. Két prototípus épült, amelyeket 600 órás kísérleti program során teszteltek. 1976 novemberében a típussal harcjárművek deszantolását gyakorolták terepszakaszra, sikeresen. Az YC-14 koncepciót végül mégis elvetették, egyrészt mivel a típus STOL terhelhetősége nem tette lehetővé hatékony harcjárművek szállítását, másrészt egyetlen típussal

párhuzamosan kívánták megvalósítani a stratégiai és a taktikai légi szállítást. Az YC-14-est így „nem vásárolták meg, mivel változatlanul megmaradt az igény…olyan széles törzsű szállító repülőgép iránt, amelyekkel a frontvonal közvetlen közelében kihelyezhetők a páncélozott harcjárművek”[28]. A szállító repülőgépek fejlesztési programjainak központi törekvése tehát továbbra is a harcjárművek nem betonozott leszállópályára történő deszantolásának megoldása maradt. Az AMST program így a jóval szerényebb STOL képességekkel rendelkező, de egyszerűbb szerkezeti kialakítású és olcsóbb YC-15, illetve az annak tapasztalatai alapján létrehozott C-17 típus fejlesztése felé fordult.

Az amerikai harcászati szállító repülőgép rendszeresítése igen távoli időpontban valószínű, a kategória lefedettsége részben mégis biztosított. Kevésbé újszerű megoldásokat vonultat fel, ugyanakkor rövid távon eredményesebb az európai harcászati szállítórepülőgép-fejlesztés, amelynek eredménye az *Airbus A-400M* típus. Az európai közepes szállító repülőgép – habár nem rendelkezik radikális STOL képességekkel - az amerikai harcászati szállítórepülő programnál jóval korábban vezethet eredményre. A nyolcvanas években az Airbusnál megfogalmazott tervezési célkitűzés a C-130-as teljesítményénél többet nyújtó, de még a harcászati szállító repülőgép kategóriába tartozó légi szállítóeszköz létrehozását fogalmazta meg. Az A400M légi szállítási teljesítményét a C-130 és a C-17 típus közé lehet elhelyezni. A repülőgép 37 tonna maximális hasznos terhelhetősége jelentősen nagyobb, mint a C-130 típus 20 tonnás terhelhetősége, ugyanakkor kevesebb, mint a fele a C-17 típus 78 tonnás terhelésének. Az A-400M 130 tonnás maximális felszálló súlya is kétszerese a C-130-nak, míg fele a C-17-nek. Ilyen módon az A-400M már képes kiszolgálni a korszerű haditechnikai eszközök tömege-mérete által támasztott stratégiai szállítási igényeket, ugyanakkor méreténél fogva képes maradt a harcászati szállító repülőgép feladatkörének maradéktalan betöltésére is. A repülőgép sárkányszerkezetének kialakításakor nagy arányban alkalmaztak kompozit egységeket. A vezérsíkokat teljes egészében szénszál erősítésű kompozit anyagból készítették. A négy, TP400-D6 típusjelű, 13000 LE teljesítményű légcsavaros-gázturbinás hajtómű jelenleg kategóriája legerősebbike. A kiváló repülési teljesítményeket garantáló nagy teljesítmény magas fokú gazdaságossággal és alacsony zajszinttel párosul, mivel „a háromtengelyes nagyteljesítményű gázturbinás hajtómű…kompozit anyag felhasználásával készült nyolclapátos FH386 légcsavart hajt meg”[29]. A tehertér 17,7 méter hosszú, 4 méter széles és 3,85 méter magas, a rakodásra – és járművek behajtására – a farokrészen kialakított rámpa biztosít lehetőséget. A repülőgépet kis magasságú terepkövető repülést irányító számítógépes rendszerrel szerelték fel. Ejtőernyős teher-deszantként egy egységben 16 tonna hasznos teher – köztük harcjárművek - kis magasságú ledobására, illetve 116 fő felfegyverzett ejtőernyős katona szállítására és ledobására alkalmas. Leszálló deszantként két LAV-III kategóriájú páncélozott lövészszállító harcjárművet, vagy a maximális terhelhetőséget meg nem haladó tömegű harckocsit szállíthat (pl. osztrák-spanyol Ascod, svéd CV90-120). Az oldalanként hat-hat főfutó kerékkel felszerelt repülőgép

[28] BATCHELOR, John – LOVE, Malcolm: A repülés enciklopédiája 1945-2005. Gabo kiadó, Bp., 2006. 300. o.
[29] Hosszú idő után az A400M az első repülése felé halad. Tájékoztató a külföldi repülési szakfolyóiratokban megjelent fontosabb cikkekről és információkról. MH ÖHP RMMF-ség kiadványa. 2008. 1. sz. 8. o.

alkalmas a betonozatlan repülőterekről és terepen előkészített leszállópályákról történő üzemeltetésre, illetve *képes leszálló deszantot kijuttatni „előkészítés nélküli leszállómezőkre"*[30]. Ezt a leszálló deszantfeladatok szempontjából kiemelkedően fontos képességét segítik a radikálisan új fejlesztésű futóabroncsok is, amelyek segítségével „képes előkészítetlen lágy füves és plasztikus agyagos területeken le- és felszállni"[31]. Teljes terheléssel (segédrakéták és hajtómű teljesítménynövelő-eljárás nélkül) 940 m felszálló-, illetve 625 m leszállópályát igényel (ez utóbbi adat megközelíti az AMST követelményt is). Hatótávolsága 20 tonnás terheléssel 0,68 M utazósebességnél 6500, teljes terheléssel 3150 km. Maximális sebessége elérheti a 710 km/h értéket. Első repülésére 2008 folyamán kerülhet sor. Ez idáig több száz példányra érkezett megrendelés, a lehetséges vásárlók közt van Kanada is. A közeljövőben számításba vett *szállító kapacitása nagymértékben befolyásolja az európai haditechnikai fejlesztéseket, különös tekintettel a légi szállítható harcjárművekre*. Alkalmazhatósága a harcászati kategóriában, üzemeltethetősége előkészítetlen terepről, illetve szállító kapacitása *a jövőben a leszálló légideszant-műveletek, azon belül a harcjárművek deszantolásának fontos eszközévé teheti*.

A hetvenes évekre a szovjet fejlesztés is egyértelműen a nagy teljesítményű kétáramú gázturbinák alkalmazása és *a STOL képesség kialakítása* felé fordult. A hasonló fejlesztések eredményeképpen a szovjet légierőnél megjelenő *Antonov An-72* repülőgép kedvező STOL képességgel bírt ugyan, de csak a könnyű szállító kategóriában. Az An–72-es könnyű szállító repülőgép először 1977. decemberében emelkedett a levegőbe. A típus STOL tulajdonságokkal rendelkező felsőszárnyas gázturbinás szállító repülőgép, amely kapacitása alapján a közepes szállító repülőgép kategória alsó szegmensébe sorolható. A STOL tulajdonságok elérése érdekében a hajtóműveket - a Coanda-effektus hatékony megvalósításának szempontjai szerint - a szárny fölé építették. A követelmények között fő szempont volt a rövid fel- és leszálló úthossz, de a teher – köztük kisebb harcjárművek - könnyű és gyors ki- és berakodását is meg kellett oldani. Konstruktőrei a típust „*előkészítetlen, füves vagy döngölt talajú* és különösen kis méretű repülőtérről való üzemeltetésre tervezték"[32]. A magasra épített hajtómű – a STOL üzemmódra jellemző speciális felhajtóerő-termelési eljárások mellett - az előkészítetlen (részben előkészített) leszállópályákon történő üzemeltetéskor az idegen anyagok szívócsatornába kerülését (beszívását) hivatott megakadályozni[33]. A 3,1 méter átmérőjű, kör keresztmetszetű törzs hagyományos szerkezetű, hermetikus kialakítású. A tehertérben maximum *10 tonna hasznos teher, illetve 68 felfegyverzett katona vagy 57 ejtőernyős szállítható.* A hátsó tehertérajtó lenyitható, egyrészt jármű-rámpaként szolgál, másrészt ejtőernyős ugrás és teherdobás esetén hátrafelé, a törzsvég alá mozdulhat el. A görgősorral felszerelt rakodótér bal oldalán is kialakítottak egy ajtót. Futóműve hárompontos, orrkerekes. A két áramvonalazott futógondola a törzs középső részén jobb és bal oldalon alul található, oldalanként két-két, betonozatlan repülőtérre történő üzemeltetést elősegítő alacsony nyomású abronccsal. A negatív V állású szabadonhordó kétfőtartós

[30] U. o. 10. o.
[31] ÖRLEY György – Varga István: Katonai légi szállítás. Szárazföldi Haderő, 2006. évi IV. évf. 3. sz. 43. o.
[32] SZENTESI György: Katonai repülőgépek és helikopterek. Zrínyi Könyvkiadó, Budapest, 1987. 266. o.

szárny vállszárnyas elrendezésű, kétszer nyilazott, kétrészes orrsegédszárnnyal szerelt kialakítású. A hajtóműgondolák a szárny felett találhatók. A két, egyenként 63,7 kN tolóerőt szolgáltató hajtómű nyomásviszonya 18,7:1. A hajtómű beömlőnyílás jelentős mértékben a belépőél elé nyúlik, míg a STOL követelmények miatt *sugárfordítóval felszerelt fúvócső* a szárny húrhossz első harmadában ér véget. *A kiáramló gázok hőmérséklete miatt szárny felső borítása a hajtóművek mögött titánból készült.* A szárny felső panelre fúvatott hajtómű-gázáram - a tolóerő létrehozása mellett - létrehozza azt az áramlást is, amely már kis sebesség mellett is megfelelő mennyiségű és a felhajtóerőt termel. A felület mentén továbbhaladó áramlás irányításában nagy szerepet játszik a *háromszor réselt fékszárny alkotta titánötvözetű szárnymechanizáció, amelynek belső szektorai kisebb mértékben, míg a külsők a jelentősnek mondható 60°-ra térhetnek ki.* A Coanda-effektus és az erősen mechanizált szárny összességében a tolóerő egyfajta elfordítását teszi lehetővé[34]. A vezérsík – a STOL üzemmódnál fellépő zavaró áramlásokból kivonandó - nyilazott T elrendezéssel került kialakításra. Nagy sebességen a *kétrészes oldalkormánynak* csak a felső tagja tér ki, majd a sebesség csök7kenése nyomán az alsó rész automatikusan bekapcsolódik a kormányzásba. A típus üres tömege 19 tonna, maximális felszálló tömege 34,5 tonna, legnagyobb hasznos terhelése 10 tonna, hatótávolsága maximális terheléssel 3200, míg 7,5 tonnás terheléssel 4800 km. Üzemanyag-töltéstől és a környezeti körülményektől függően 3500-*7500 kg terhelési határ* között képes a megkövetelt STOL paraméterek – *450 m fel-és leszállási úthossz* - teljesítésére. (A típus a legnagyobb üzemanyag-töltéssel és a maximális tíztonnás terheléssel már hozzávetőleg 2000 m kifutópályát igényel.) Felszállósebessége – a terhelés függvényében – 150–180 km/h, legnagyobb sebessége 720 km/h. Az An-72 különböző változataiból eddig közel 300 példányt építettek.

3.4. Légi szállítható páncélozott harcjárművek

A *BMD-4 légideszant harcjármű* esetében felismerték a tervezők, hogy egy kombinált löveges-gépágyús fegyverrendszer beépítését minimális tömegnövekedés mellett is képesek megoldani. Első példányait 2005-ben adták át a légideszantcsapatoknak. Az új harcjárművet a BMD-3 alvázára építették meg, a 30 mm-es gépágyú mellé még egy 100 mm-es löveget is beépítve a toronyba. Elődjéhez képest a nagyobb tűzerő mellett nagyobb páncélvédettséggel is ellátták. A löveg a hagyományos tüzérségi alkalmazás mellett képes páncéltörő rakéták indítására is, emellett automata töltővel is ellátták, amely a kétfajta lőszert képes betölteni. Belső térből töltött, csőből tüzelt páncéltörő rakétája 5,5 km-es távolságig hatékony. Lőszerjavadalmazása 34 db 100 mm-es repeszgránát, illetve 8 db rakéta és 500 db 30 mm-es repesz- és páncéltörő gépágyúlőszer. A parancsnok, a harcjárművezető és az irányzó mellet öt fő deszantot - a 3-as típushoz képest egy fővel többet - szállíthat a harcjármű. Tömege 13,6 tonna, ami alig nagyobb a 3-as változaténál. Az

[33] VASS Balázs: Repülőgépek, helikopterek, rakéták. Műszaki könyvkiadó, 1982. Budapest, 86. o.
[34] U. o. 86. o.

úszóképes harcjármű közúton 70 km/h-s, vízen 10 km/h-s sebességgel képes haladni, hatótávolsága 500 km.

A napjainkban rendszeresítés alatt álló orosz *2S25 Sprut páncélvadász (könnyű harckocsi)* tömege 18-21 tonna között változik a felszerelt rátétpáncélzat és reaktív páncél függvényében. (Ezzel a szerkezeti tömeggel még éppen belül marad a Mil Mi-26 nehéz szállító helikopter teherbírásán, így – hasonlóan a BMD típuscsalád járműveihez – fenntartja helikopteres légimozgékony képességét.) Alap páncélvédettsége a BMD típuscsaládéval közel azonos. Rátét- és reaktív páncélzat nélkül csak a 12,7 mm-es nehézgéppuska tüze ellen nyújt védelmet, ezek alkalmazásával azonban páncéltörő eszközök tűzcsapásait is képes elviselni. Ejtőernyővel a jármű belsejében elhelyezkedő kezelőállománnyal együtt is deszantolható[35]. Kezelőszemélyzete három fős: parancsnok, irányzó és járművezető. Ennél a könnyű páncélozott harcjárműnél az alap harckocsikkal összevethető teljesítményű 125 mm-es löveg alkalmazására helyezték a hangsúlyt. A harcjármű egy sima csövű 125 mm-es löveggel van felszerelve, amely leváló köpenyes, űrméret alatti páncéltörő és kumulatív páncélromboló lövedéket, valamint repesz-rombológránátot egyaránt tüzelhet. Automata töltőberendezéssel rendelkezik, amely helyettesíti a töltőkezelőt és biztosítja a percenkénti 8 lövés tűzgyorsaságot. A löveget 360°-ban elforgatható toronyban helyezték el. A jármű fő fegyverzetéhez 40 db lőszert készleteznek, míg a 7,62 mm-es géppuskához 2000 db lőszer áll rendelkezésre. Meghajtását egy 510 LE-s (380 kW) turbofeltöltéses dízelmotor biztosítja. Sebessége úton 70 km/h, hatótávolsága 500 km.. A vízsugárhajtással rendelkező kétéltű jármű úszósebessége 10 km/h. Lövegével úszás közben is képes lőni. A harcjármű váltótípusa a tengerészgyalogságnál és a légideszant csapatoknál korábban egyaránt alkalmazott PT-76 könnyű harckocsinak. Ugyanakkor – hatékony fegyverzettel rendelkező könnyű harckocsiként - jól kiegészíti és jelentősen megnöveli a BMD típuscsalád képességeit. A légideszantcsapatok parancsnoka *a jelentős képességnövekedést hozó Sprut rendszeresítését követően törzsével átdolgoztatta a szovjet légideszantok harcászati doktrínáját, amely így a korábbinál intenzívebb támadó szerepkörrel számol*[36].

Az amerikai haderő a légideszant- és légiszállítású erők harcászati képességeinek növelése érdekében már a hatvanas évek közepén megfogalmazta *légiszállítható könnyű harckocsi* iránti igényét. „A szárazföldi haderőnem akkori vezérkari főnöke, D. Maxwell Taylor tábornok a tervezők elé feladatot tűzött: egy olyan könnyű harckocsi kifejlesztését, amelyet a légideszant műveletek során lehet alkalmazni”[37]. A légideszant alakulatok számára kifejlesztett könnyű harckocsik közül kiemelkedő az *M551 General Sheridan légideszant harckocsi*, amely az alumínium testnek köszönhetően légi úton szállítható, és ejtőernyővel dobható, továbbá úszóképes. Gyártását 1966-ban kezdték meg. A harckocsi felépítése megfelel a klasszikus megoldásnak. A vezetőtér elöl, a küzdőtér középen, a motor-erőátviteli tér pedig hátul található. A kezelőszemélyzet létszáma 4 fő: parancsnok,

[35] HALBERSTADT, Hans: Tüzérségi eszközök a középkortól napjainkig. Hajja és Fiai K., Debrecen, 2003. 166. o.
[36] BAGI József: A BMD-4 deszantharcjármű. Haditechnika, 2009. évi 2. szám 4. o.
[37] BOMBAY – GYARMATI – TURCSÁNYI: Harckocsik 1916-tól napjainkig, Zrínyi, Budapest, 1999. 172. o.

irányító, töltőkezelő és vezető. A vezető a páncéltestben elöl, a töltőkezelő a toronyban baloldalon, a parancsnok és az irányzó a jobb oldalon helyezkedik el. Az alumínium páncéltestnek köszönhetően a harckocsi tömege mindössze 16 tonna. Hosszúsága 6,3 méter, szelessége 2,82 méter, teljes magassága pedig 2,92 méter. Fajlagos talajnyomása nagyon alacsony, 0,49 N/cm^2. A páncéltest poliészter szendvicsszerkezetű alumínium, a torony pedig acélöntvényből készül. A harckocsit mérete és tömege is alkalmassá teszi légi szállításra. A kezelőszemélyzet által felszerelt speciális berendezés segítségével /poliuretán öv/ úszóképes. Vízen a lánctalpak forgatásával 5-6 km/h sebesség elérésére képes. A harckocsi fő fegyverzete a rakéta kilövésére is alkalmas kis szerkezeti tömegű 152 mm-es kombinált löveg. A löveg töltése kézzel történik. A 152 mm-es kombinált löveg hagyományos lőszerrel megfelelő tűzerőt biztosít páncélozatlan célok ellen, amit tovább fokoz az ugyanebből a csőből indítható lézerirányítású, 2000 méter hatásos lőtávolságú Shillelagh páncéltörő rakéta, amelyből a harckocsi 10 darabot hordoz. Emellett rendelkezésre áll 20 db kumulatív, ill. repeszhatású lőszer is, amely 1000-1500 méter távolságon hatásos. Felszerelték egy 7.62 mm-es és egy 12.7 mm-es géppuskával is. A harckocsi tűzvezető rendszeréhez lézer távmérővel egybeépített optikai irányzótávcső, kétsíkú fegyverzet stabilizátor, infravörös irányzó és figyelő berendezések tartoznak. A Shillelagh rakétájával bármilyen ismert típusú harckocsit képes nagy távolságból hatásosan támadni illetve megsemmisíteni. A kombinált löveghez a kettős működés miatt hüvely nélküli lövedéket kellett tervezni, fejleszteni. A hüvely nélküli lőszer érzékenynek bizonyult a nedvességre, csökkentve ezzel a lobbanékonyságot. Tüzeléskor gyakran maradtak vissza a lövegcsőben izzó maradványok, amelyek a következő töltet idő előtti robbanását idézhették elő. A megfelelő tisztítórendszer kifejlesztése után is fennállt az a probléma, hogy, a löveg hátrasiklása túl erős volt, felemelte a két első futógörgőt a talajról és majdnem egy méterre hátratolta a harckocsit. A löveg tömege nagy volt a könnyű alumínium alvázhoz. Az alumínium páncéltest hátránya, hogy aknákra az acél páncéltesteknél érzékenyebb. Az M 551 Sheridan harckocsi erőforrása egy 220 kW (330 LE) teljesítményű, 6-hengeres, feltöltős General Motors 6V53T kétütemű dízelmotor. A Sheridan harckocsimotornál egy speciális megoldással, a kétütemű feltöltéses rendszerrel értek el kis motortömeg és –térfogat mellett magas fajlagos motorteljesítményt. „A kétütemű rendszert a négyüteművel szemben a teljesítménynövelés eszközének tekinthetjük, mivel a motorok literteljesítményét az ütemszám és a középnyomás határozza meg. A kétütemű dízelmotorok literteljesítménye 50-60%-kal nagyobb, mint a négyütemű dízelmotoroké….Azonban a kétütemű ciklus munkafolyamatának magas az átlagos hőmérséklete. Emiatt tehát különleges megoldásokat kell alkalmazni, jelen esetben a dugattyúk olajhűtését. A gázerők állandóan egy irányban hatnak a dugattyú oldalára, ami elősegíti a dugattyúgyűrűk hornyaiban a kokszlerakódást, amitől a gyűrűk beragadhatnak. A hajtórúd-csapágyak átlagos terhelése nagyobb, mint a négyütemű rendszernél…[38]” A kétütemű dízelmotor – a túlterhelésből fakadó számos műszaki korlát következtében – *csak a kis és közepes kategóriában építhető meg sikeresen*. „Nehéz a dugattyúcsoport megbízható munkájának biztosítása…A

[38] JUREK Aurél: Belsőégésű motorok. Tankönyvkiadó, Budapest, 1961. 655-656. 678. o.

teljesítmény növelésével ezek a problémák növekednek, ezért a nyugati perspektivikus motoroknál, amelyek teljesítménye 736 kW-nál (1000 LE) magasabb, kétütemű motorral nem találkozunk"[39]. A kis tömegű, nagy teljesítményű motor rendkívül mozgékonnyá teszi a könnyű harcjárművet. Erőátviteli berendezéséhez hidrodinamikus automata sebességváltómű tartozik. A futómű felfüggesztése független, torziótengelyes megoldású. A lánctalpak acél lánctagokból állnak. A harckocsi maximális sebessége műúton 70 km/h, terepen 44 km/h, hatótávolsága egy feltöltéssel 500 km. Terepjáró-képességét jellemzi a 0,83 méteres lépcsőmászóképesség a 2,54 méteres árok leküzdésének képessége és a harckocsiknál szokásos 30°-os mászóképesség. Rendelkezik tömegpusztító fegyverek elleni védelmi ABV berendezéssel és nagy teljesítményű híradó eszközökkel. Tervezték a Sheridan 105 mm-es önjáró löveg, nehéz aknavető-hordozó, és lángszórós változatainak elkészítését is, de a magas költségek miatt ez végül elmaradt. Bár kivonását már a 70-es évek végén tervezték, (még részt vett 1991-ben Kuvait felszabadításában) erre gyakorlatilag 1996-ban került sor[40].

Az *M8 könnyű harckocsi*, más megnevezéssel *AGS* (Armoured Gun System - páncélozott lövegrendszer) olyan *páncélvadász* harcjármű, amely átmenetet képez a harckocsik és az önjáró lövegek közt. Az amerikai United Defence által a kilencvenes évek elejétől fejlesztett prototípus 1995-ben készült el, amelyet azóta további három darab legyártása követett. Ekkorra a légideszantcsapatok rendszeresített könnyűharckocsiját kivonták a rendszerből, így „az M8-ast…az M551 Sheridan felváltására…fejlesztették ki"[41]. A jármű kezelő állománya 3 fő. Az 580 LE teljesítményű Detroit Dízel 6V-921A turbófeltöltésű kétütemű dízelmotorral úton 72 km/h maximális sebességre képes, hatótávolsága 450-480 km. Fő fegyverzete a percenként 12 lövés tűzgyorsaságot biztosító, automata töltőberendezéssel támogatott 105 mm-es M35 löveg, L/51 űrmérethosszal. Az alumínium alap-páncélzatú harcjármű súlyát a különböző külön felszerelhető acél páncélgarnitúrák és reaktív páncélzat alkalmazásával 16738 kg és 23590 kg tömeg között háromféle védettségi szinten lehet beállítani. A legmagasabb védettségi szint 30 mm-es gépágyúlőszer ellen nyújt védelmet[42]. A páncélgarnitúrákat külön repülő eszközön szállítva a tömeget alacsony szinten tarthatják, így – a legalacsonyabb védettségi szinten – az M8 a C-130 Hercules szállító repülőgéppel légiszállítható, ejtőernyővel ledobható marad. Habár sorozatgyártására nem került sor, a szakirodalom napjainkban is potenciálisan rendszeresíthető légiszállítású harcjárműnek tekinti. Továbbfejlesztése 120 mm-es löveg beépítésére irányul, ám ebben az esetben tömege legkevesebb 25 tonnára növekszik. Ugyanakkor az, hogy csak leszerelt páncélgarnitúrákkal és reaktív páncélzattal éri el a légi szállíthatóság határát és deszantolása így két repülőgépet igényel, mindenképpen bonyolulttá teszi ennek az eszköznek az alkalmazását. Két, kiegészítő páncélzat nélküli M8 harcjármű és a leszerelt páncélgarnitúrák szállítását három repülőgépen lehet megoldani.

[39] SZKACSKO – SZERGEJEV – BELONOVSZKIJ – SISKIN – MARJUTYIN – VASZILIJEV: Harckocsik és harckocsicsapatok. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1982. 93 o.
[40] BOMBAY – GYARMATI – TURCSÁNYI: Harckocsik 1916-tól napjainkig. Zrínyi Kiadó, Budapest, 1999. 172. o.
[41] FORTY, George: Tankok világenciklopédiája. Athenaeum, Budapest, 2005. 185. o.
[42] LAUR, Timothy M. – LLANSO, Stephen M. Encyclopedia of Modern U.S. Military Weapons. Berkley Books, New York, 1995. 229-230. o.

4. A LÉGI GÉPESÍTETT SZERVEZETEK FELOSZTÁSA ÉS A PÁNCÉLOZOTT SZERVEZETEK MODELLJEI

4.1. A légi szállíthatóság és -deszantolhatóság a szervezetek gépesítettségének függvényében

A szállító kapacitás szempontjából a *stratégiai szinten telepíthető erők* (strategic deployable) légiszállítása a 100-150 tonna közötti teherbírású *nehéz szállítórepülőgépekkel* valósul meg. A hadműveleti szinten telepíthető (operational deployable) erők légi szállítását a *harcászati légiszállítási műveletekhez* kötődő, 19-78 tonna szállítókapacitású *deszant-szállítórepülőgépekkel* (assault aircraft) végzik. A *deszant-szállítórepülőgépek* harcszerű körülmények között, *az ellenség mögöttes területeire* – repülőterekre, esetenként a terepen előkészített leszállópályára – juttatják el a csapatokat. A 19-78 tonna feletti haditechnikai eszközökkel rendelkező általános rendeltetésű katonai szervezetek – a rendelkezésre álló nehéz légiszállító kapacitás függvényében – a stratégiai szinten korlátozott mértékben légi szállíthatók, de nem deszantolhatóak. Az ez alatti tömegű eszközökkel rendelkező katonai szervezetek viszont deszantolhatóak. *Így - a korszerű szállító repülőgépek szállító kapacitását figyelembe véve – elmondható, hogy a megfelelő gyakoroltatást követően, napjainkban általában bármely fegyvernemhez tartozó alegység deszantolható.*

A különböző haditechnikai eszközök *légi szállíthatóságának*, illetve *deszantolhatóságának* meghatározása érdekében - a NATO államok haderőinél rendelkezésre álló légi szállító kapacitás paramétereit figyelembe véve - az 1. sz. táblázatban mutatjuk be a belsőteres helikopteres szállítás, az ejtőernyővel dobhatóság, a helikopterre függeszthetőség, a repülőgéppel leszállósávra deszantolhatóság, illetve a betonos repülőtérre történő légi szállítás tömeghatárait. A tömegadatokat a nagy mennyiségben rendelkezésre álló (CH-47, C-130) és a kisebb mennyiségben rendszeresített (CH-53, C-17) eszközökre is megadtuk.

DESZANTOLÁSI-SZÁLLÍTÁSI FORMA	**TERHELHETŐSÉG**	**LÉGI SZÁLLÍTÓESZKÖZ**
NEM LÉGISZÁLLÍTHATÓ	100 tonna felett	-
REPÜLŐTÉRRE LÉGISZÁLLÍTHATÓ	78-100 tonna	**C-5** nehéz szállítórepülőgép
LESZÁLLÓSÁVRA DESZANTOLHATÓ	19 illetve 78 tonna	**C-17** nehéz szállítórepülőgép **C-130** szállítórepülőgép
EJTŐERNYŐVEL DESZANTOLHATÓ	16 illetve 32 tonna	**C-17** nehéz szállítórepülőgép **C-130** szállítórepülőgép
HELIKOPTERRE FÜGGESZTVE DESZANTOLHATÓ	12 illetve 16 tonna	**CH-53** nehéz sz. helikopter **CH-47** nehéz sz. helikopter
BELSŐTERES HELIKOPTERES SZÁLLÍTÁSSAL DESZANTOLHATÓ	10 illetve 14 tonna	**CH-53** nehéz sz. helikopter **CH-47** nehéz sz. helikopter

1. sz. táblázat. A deszantolhatósági osztályok a szállítható tömeg és az alkalmazott szállítóeszköz szerint (NATO légiszállítási variáció)

A különféle deszantolhatósági kategóriákba sorolható haditechnikai eszközök egy meghatározott rend szerint alkotják a szárazföldi haderő egységszintű szervezeti elemeinek eszközparkját. Ilyen értelemben a gépesítettség és a páncélos-támogatottság különböző szintjein álló lövész (gyalogos), légimozgékony, ejtőernyős, gépesített és páncélos hadosztályok (vagy dandárok) egyre nagyobb tömeget és térfogatot képviselnek, ami alapvetően befolyásolja légi szállíthatóságuk mértékét. A 2. sz. táblázatban – egy példaként - *az amerikai szárazföldi haderő egységszintű szervezeti elemeinek légi szállíthatósági adatait* ismertetjük az 1972-es állapot szerint[43].

Hadosztály típus (szervezet jellege)	**Légimozgékony** (heli. deszanterő, könnyűlövész)	**Ejtőernyős** (eje. deszanterő, könnyű gk.lövész)	**Gyalog** (gk. lövész pc. támogatással)	**Gépesített** (páncélozott lövész)	**Páncélos** (harckocsizó)
Élőerő	15954 fő	14533 fő	15832 fő	16040 fő	15988 fő
Gépkocsi	1150 db (**1**)	2759 db (**2,4**)	3200 db (**2,8**)	2928 db (**2,5**)	3026 db (**2,6**)
Páncélozott jármű	26 db (**1**)	76 db (**2,6**)	214 db (**8,2**)	867 db (**33,3**)	959 db (**36,9**)
Repülőgép/helikopter /ebből felfegyverzett	459/292 db (**4,45**)	103/93 db (**1**)	103/93 db (**1**)	103/93 db (**1**)	103/93 db (**1**)
Támogató fegyver	827 db (**1**)	1171 db (**1,4**)	1220 db (**1,5**)	1411 db (**1,7**)	1288 db (**1,6**)
Löveg	66 db	64 db	80 db	80 db	80 db
Haditechnika tömege	8617 t (**1**)	14693 t (**1,7**)	34829 t (**4**)	46983 t (**5,4**)	52153 t (**6**)
Élőerő tömege	2177 t	1995 t	2177 t	2177 t	2177 t
Összegzett tömeg	10796 t (**1**)	16688 t (**1,55**)	37006 t (**3,42**)	49160 t (**4,5**)	54330 t (**5**)
Szállítási térfogat	113280 m^3 (**1,14**)	99120 m^3 (**1**)	169920 m^3 (**1,71**)	198240 m^3 (**2**)	215232 m^3 (**2,17**)

2. sz. táblázat. A szárazföldi haderő különbözően gépesített szervezeti elemeinek tömeg- és térfogatjellemzői

A táblázat adatai alapján látható, hogy a helikopteres légimozgékony és az ejtőernyős szervezetek tömeg- térfogat és fegyverzeti adatai – összevetve más szervezetekkel – viszonylag közel állnak egymáshoz. Ugyanakkor elmondható az is, hogy az **ejtőernyős deszant-módszerrel jóval nagyobb mennyiségű gép- és harcjármű juttatható ki, mint a helikopteressel**. (egyúttal a kijuttatás potenciális távolsága is jóval nagyobb a repülőgépek nagyobb hatótávolsága miatt.)

Az ejtőernyős szervezet is légi szállítható helikopterrel – még akkor is, ha a nagyszámú gépjármű, illetve nagyobb mennyiségű páncélozott harcjármű miatt több nehéz szállító helikopterre van szükség. Ehhez kapcsolódóan zajlott le az az 1972-es szervezési rendhez képest jelentős módosulás, hogy napjainkra az ejtőernyős szervezeti elemeket is ellátják saját helikopteres légi szállító kapacitással. Hasonlóképpen növekedett a különféle könnyűlövész (hegyi, tengerészgyalogos, stb.) szervezeti elemek saját szállítóhelikopter-kapacitása az utóbbi évek folyamán, kihasználva a nehéz szervezetekhez képest mérhető fokozott légi szállíthatóságukat. Látható az is, hogy a gyalogos (könnyű gépkocsizó lövész) szervezeti elem tömeg- és térfogat adatai – a páncéloshoz képest – nem térnek el túlzottan a légideszant szervezetétől, így bizonyos értelemben – a nagyobb tömeg és térfogat

[43] BRABENEC, Miloš: Csapás a harmadik dimenzióból. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1972. 141. o.

szállítására alkalmas repülőgépek képességeit alapul véve – nagyfokú légi szállíthatósággal rendelkeznek. E felismerés mentén hozták létre napjainkban a repülőgépen légi szállítható Stryker dandárokat, amely így bizonyos feltételek mellett alkalmas a légideszant szervezetek páncélozott megerősítésére.

A páncélos szervezetek tömege és térfogata 5-6-szor magasabb a légideszant szervezetekénél, tehát utóbbiak légi szállíthatósága ilyen jelentős mértékben kedvezőbb. Ugyanakkor ha a megerősítések nélkül tevékenykedő légideszant szervezet harcának megvívása során szembekerül az ellenfél páncélos szervezetével, hozzávetőleg 35-szörös páncélos fölénnyel kell szembe néznie. A táblázat adatai alapján is elmondható, hogy a légi szállítás szempontjából legflexibilisebb – helikopterrel és repülőgéppel egyaránt szállítható, kis tömegű, kis térfogatú - szervezet a légimozgékony hadosztály, míg ugyanebből a szempontból a legkorlátozottabb szervezet a páncélos hadosztály, amelynek légi szállításához és deszantolásához leszálló módszerrel tevékenykedő nehéz szállító repülőgépeket vesznek igénybe. A **páncélos hadosztályt** – nagy tömege és térfogata miatt – rendszerint nem légi deszantolják egy egységben. **A rendelkezésre álló légi szállító kapacitás** - még olyan jelentős államok hadereje esetében is, mint az Egyesült Államok – **rendszerint csak század- és zászlóalj harccsoportok kijuttatására elegendő**. *Figyelemre méltó légi szállíthatósági paraméterekkel rendelkeznek viszont a páncélozott felderítő szervezetek egyes, könnyű felderítő harcjárművekkel felszerelt elemei*, amelyek – kedvező esetben – *nehéz szállító helikopterek segítségével deszantolhatók*.

4.2. A légi gépesített szervezetek felosztása a páncélos-gépesítés jellege szerint

A szovjet, brit, amerikai és német haderői a hetvenes évektől a kilencvenes évek végéig részben vagy teljes mértékben gépesítette légideszant szervezeteit. A légi gépesített szervezeteken belül *a könnyű és a nehéz (páncélozott) elemek arányát tekintve a különböző haderők gyökeresen eltérő modell szerint állított fel gépesített légideszant kötelékeiket*. Ennek az volt az elsődleges oka, hogy a rendelkezésre álló légi szállító kapacitás mennyisége és minősége - a nehéz szállító repülőgépek és helikopterek száma és aránya - minden alkalmazó haderő számára más-más tömeg-korlátot diktált a kijuttatható páncélozott harcjárművekkel kapcsolatosan. A *légideszantok páncélozott gépesítése* ezért nemzetenként *eltérő modellek mentén valósult meg*, jellemzően különböző tömegű páncélozott harcjárművekkel került végrehajtásra.

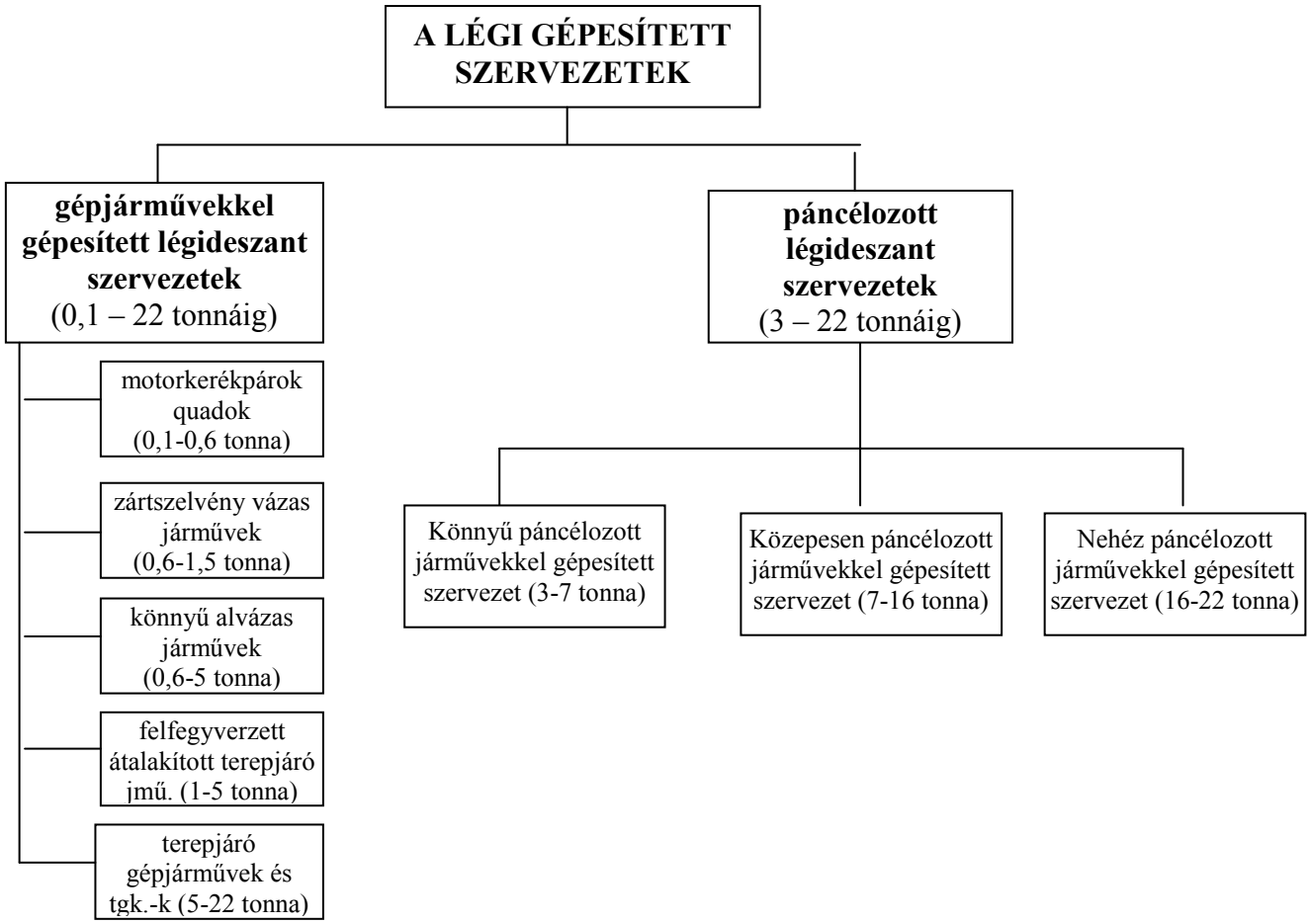
Az egymástól eltérő páncélozott légi gépesítési modellek beazonosításához elsőként *a páncélozott légideszant harcjárművek egyes kategóriáit* szükséges meghatározni, hogy ezáltal pontosan beazonosíthatók legyenek az *eltérő tömegű harcjárművekkel felszerelt légi gépesített szervezetek*. Például a 8 tonnás BMD-1 és 2, illetve a 100 %-kal nehezebb 16 tonnás Sheridan között *nagyobb a tűzerő, tömeg- és méretbeli különbség*, mint a második világháború 30 tonnás M4 Sherman és 57 tonnás Pz. VI. Tiger I. között, amelyek *két, egyértelműen elkülöníthető haditechnikai kategóriába* (közepes, illetve nehéz harckocsi) tartoztak, ennek következtében *gyökeresen eltérő feladatú és*

felépítésű szervezetekbe szervezték őket. Ugyanez a jelentős különbség mutatkozik – csak a másik irányban a 3 tonnás Wiesel-1 páncélozott harcjármű és a 160 %-kal nagyobb tömegű 8 tonnás BMD-2 között. A Wiesel és a Sheridan közötti 400%-os szerkezetitömeg-különbség pedig egyértelművé teszi, hogy a két eszköz különböző páncélozott harcjármű kategóriába tartozik. A szárazföldi haderő harckocsijainál hagyományosan alkalmazott felosztás alkalmazása - amely szerint a forgatható toronyban elhelyezett páncéltörő fegyverzettel ellátott, lánctalpas futóművű páncélozott harcjárművek, azaz harckocsik 20 tonnáig könnyű, 40 tonnáig közepes, e felett pedig nehéz kategóriába sorolhatók - a légideszantok páncélozott harcjárműveinél problematikus. A nagymértékben eltérő tömegű légiszállítható páncélozott harcjárművekkel felszerelt légideszant szervezetek vizsgálatához *nem elegendő annak megállapítása, hogy azok* – a hagyományos, szárazföldi haderő harckocsijainak kategorizálására alkalmazott szabály szerint – *egységesen a könnyű harckocsi kategóriába tartoznak*. Ennek oka, hogy a légiszállítható harcjárművek túlzottan széles spektrumon szóródnak szét a klasszikus könnyű harckocsi kategórián belül (ami a szárazföldi haderőnél nem probléma, mivel ott ezek az eszközök rendre a 20 tonnás szerkezeti tömeg körül kerülnek kialakításra). *A további szervezeti vizsgálatokhoz a páncélozott légideszant harcjárművek kategorizálására van szükség*.

A légideszantok harcjárművei tehát lényegében a klasszikus könnyű harckocsik tömeg-kategóriájába tartoznak, ezért ezt a kategóriát kell tovább osztani besorolásukhoz. A célszerűen alkalmazható *légi szállítható páncélozott harcjármű kategóriák* ez esetben is a „könnyű légideszant harcjármű – közepes légideszant harcjármű – nehéz légideszant harcjármű". A légideszant harcjárműveket 7 tonnáig könnyűnek, 16 tonnáig közepesnek, efelett – 22 tonnáig, a szélesebb értelemben vett helikopteres és repülőgépes légi szállíthatóság felső határáig – nehéznek soroljuk be. (22 tonna felett rendszerint nem építenek légideszant harcjárművet.) A különféle tömegű harcjárművekkel gépesített *páncélozott légideszant szervezetek* ilyen módon *három szervezet-típusra* oszthatók, ezek:

- könnyű páncélozott harcjárművekkel gépesített;
- közepes páncélozott harcjárművekkel gépesített;
- nehéz páncélozott harcjárművekkel gépesített légideszant szervezetek.

Az egységes és átfogó értelmezés érdekében a különféle járműtechnikai eszközökkel – páncélozatlan, illetve páncélozott légideszant harcjárművekkel - gépesített légideszant szervezetek felosztását a 2. sz. ábrán mutatjuk be.



2. sz. ábra: A légi gépesített szervezetek felosztása

A gyakran egymást átfedő tömegű páncélozatlan járműveket nem soroltuk tömeg szerint élesen elkülönített kategóriákba, de megjelöltük a leggyakrabban alkalmazott járműféleségeket és hozzávetőleges tömegüket. A 2. sz. ábra alapján *a légi gépesítés két területen valósul meg*: egyfelől a páncélozatlan járműtechnikai eszközök, másfelől a páncélozott harcjárművek területén. Mindenek előtt le kell szögeznünk, hogy a vizsgált korszerű légideszant szervezetek *könnyű, páncélozatlan gépjárműtechnikai eszközökkel lényegében teljes mértékben gépesítettek*. Jelentős eltérés *a páncélozott harcjárművek megjelenésének számarányában* mutatkozik az egyes szervezeteken belül.

4.3. A páncélos légi gépesítés nemzetenként eltérő szervezeti modelljei

Az amerikai légimozgékony hadosztályt többségében páncélozatlan gépjárművekkel gépesítették, így az amerikai légideszant szervezetek esetében a páncélozott légi gépesítés terepe az ejtőernyős hadosztály. Ezt kis méretű páncélozott kötelékek felállításával és a további teljes szervezet esetében könnyű terepjáró gépjárművekkel és könnyű teherautókkal ellátásával történt. Ilyen gépesített légideszant szervezet az *amerikai 82. légideszant hadosztály*, amely *viszonylag nagy tömegű (16 tonnás)* Sheridan *könnyű harckocsikból szervezett zászlóalja* mellett a többségében HMMWV könnyűterepjáróval gépesítette a szervezet további részeit. Habár nagy számú gépjárművel rendelkezik, a hadosztálynál rendszeresített 56 darab légideszant harckocsi a szervezet *részleges*

páncélozott gépesítésére utal. Ha a harcászati lehetőségek megengedték, *a második lépcsőben M-113 légiszállítható harcjárművek változataival* (12-21 tonna) *felszerelt páncélozott harccsoporttal* erősítették meg zömében könnyen gépesített légideszantjaikat (Panama 1989, Irak 1991 és 2003.), *felszerelt Stryker dandárok*. A légideszantokat – mélységben elfoglalt repülőtér rendelkezésre állása esetén – *70 tonna tömegű eszközökkel rendelkező alapharckocsi-kötelékekkel* is megerősítik. Az amerikai légideszant-szervezetek gépesítése tehát *nagy tömegű légiszállítható páncélozott harcjárműveken* alapul, így ezek *nehéz páncélozott járművekkel gépesített szervezetek*. Mindez jelentős mennyiségű közepes és nehéz szállító repülőgép alkalmazására épül.

A *szovjet ejtőernyős hadosztályt* és a *légimozgékony dandárt* többségében 7-14 tonnás, közepes légideszant harcjárműnek tekinthető BMD család tagjaival szerelték fel. (Habár a BMD-1 légideszant harcjármű tömege még néhány száz kilóval a közepes kategória határa alatt volt, a néhány évvel később rendszeresített BMD-2, majd a 3-as és 4-es típusvariánsok – tehát a típuscsalád zöme – ebbe a kategóriába sorolható.) A hadosztálynál rendszeresített 320 db BMD és 48 db BRDM jelentősen, mintegy hatszor nagyobb mennyiségű páncélozott harcjárművet jelent, mint az amerikai ejtőernyős hadosztály harcjármű állománya. Számszerűleg természetesen a szovjet hadosztálynál és dandárnál is túlsúlyban vannak a páncélozatlan könnyű gépjárművek. A konkrét harcoló szervezeti elemeket vizsgálva azonban elmondható, hogy a hadosztály összes lövészzászlóalja BMD-vel van ellátva, míg a dandárnál csak kettő a négyből, így az előbbit *teljes mértékben*-, míg az utóbbit részben *páncélos-gépesített szervezetnek* lehet nevezni. A szovjet légideszant szervezeteknél egy *közepes tömegű páncélozott harcjárművekkel megvalósított légi gépesítési forma* valósult meg. Ez – jelentős mennyiségű közepes szállító repülőgépre és nehéz szállító helikopterre támaszkodva – csekély védettséggel rendelkező lövészszállító harcjárművekkel láttak el ugyan a légideszant szervezeteket, de azok teljes egészét páncélozott gépesítésnek vetette alá. A szovjet légideszant hadosztályok és dandárok *közepes páncélozott járművekkel gépesített szervezetek*.

A *német légideszant dandár* a páncélozott harcjárművekkel megvalósítható legkönnyebb, *támogató jellegű légi gépesítési formát* teremtette meg a rakétás, gépágyús, nehézaknavető-hordozó és lövészszállító harcjárműveket egyaránt tartalmazó Wiesel harcjármű-családdal. Ugyanakkor - egy támogató harci helikopterekre, önjáró könnyűtüzérségre és légideszant műszakiak helikopteres aknatelepítésére épülő komplex támogatási modell segítségével - ebben a csekély védettséggel és korlátozott tűzerővel rendelkező harcjármű kategóriában is részben megvalósíthatóvá tették az önálló könnyűharckocsi műveleteket. A németekhez hasonlóan lényegében a dandár egyetlen zászlóalját páncélos-gépesítették a *britek*, akik szintén egy többfunkciós harcjárműcsalád komplex képességeire építették könnyűharckocsi-szervezetük működését. A brit dandárnak is szerves részét képezik a gépesített szervezeti elem tevékenységét hatékonyabbá tevő támogató helikopterek. A könnyű légideszant harcjármű kategóriába tartozó légi szállítható páncélozott harcjárművekkel szerelték fel a tengerészgyalogság kommandódandárjának egyes elemeit is. Habár a brit légideszant dandár páncélos-gépesítésénél alkalmazott légiszállítású harcjárművek a kategóriahatárt néhány száz kilóval meghaladó

tömegük alapján elméletileg a közepes kategóriába is besorolhatók lennének, de a tengerészgyalogos- és a német légideszant dandárokkal együtt összességében – a hasonló szervezeti modelleket is figyelembe véve - a *könnyű páncélozott járművekkel gépesített szervezetek* közé sorolhatók be.

Az alábbi, 3. sz. táblázatban foglalható össze a gépesített légideszantok különböző tömegű páncélozott harcjárművekkel véghezvitt, egymástól főként a rendelkezésre álló légi szállító kapacitás által diktált tömeg-korlátban eltérő *légi gépesítési modelljei*.

Páncélozott légi gépesítési modell (a ldt. hcjművek besorolása szerint)	**Alkalmazó ország**	**Páncélozott szervezetek és a páncélozott gépesítés mértéke**	**A páncélos alkalmazás jellege**	**Szükséges légi szállító kapacitás jellege és mértéke**
könnyű (3-7 t) páncélvadász harcjárművek, könnyű harckocsik és lövészszállítók	Német Szövetségi Köztársaság, Nagy-Britannia	n. páncélvadász/ br. könnyűharckocsi zászlóalj, n. eje. zászlóalj századai *Mértéke*: részleges	Főként gyalogsági támogatás de – erős és folyamatos komplex támogatás mellett- önállóan is tevékenykedik.	Közepes szállító repülőgépek és közepes szállító helikopterek *Mértéke*: csekély
Közepes (7-16 t) Lövészszállító harcjárművek erős támogató fegyverzettel	Szovjetunió	eje. hadosztály és légimozgékony dd. *Mértéke*: teljes	Nincs. Csak a gyalogság védettségének, mobilitásának és tűzerejének fokozását szolgálja.	Közepes szállító repülőgépek és nehéz szállító helikopterek *Mértéke*: közepes
Nehéz (16-22 t) Légideszant (és alap) harckocsik pc. lövészszállítók	Egyesült Államok	eje. hadosztály pc. zászlóalja, leszálló alap harckocsi és lövészszállító harccsoport, *Mértéke*: részleges	Teljes értékű harckocsi alkalmazás.	Közepes és nehéz szállító repülőgépek, nehéz szállító helikopterek *Mértéke*: rendkívül nagy

3. sz. táblázat. Páncélozott légi gépesített szervezetek modelljei (1968-2000)

A táblázatban ismertetett, három jellegzetes gépesítési modellre osztható légi gépesítési szerkezet a hidegháborús időszak végéig volt jellemző a jelentősebb haderők légideszant csapataira. Napjainkra ez a modell megváltozott, a tiszta formák egyre inkább vegyessé válnak, egy-egy haderő több páncélozott harcjármű kategóriában is légi gépesíti légideszant csapatait.

Az orosz haderő napjainkban rendszeresített a Sprut páncélvadász harcjárműve messze meghaladja a közepes kategória határait, egyúttal képességei is jelentősen eltérnek a korábbi BMD harcjárművekétől. A britek a Scorpionnál nehezebb légideszant harckocsik rendszeresítését tervezik. Az amerikaiak a Stryker dandárok felállításával egy olyan egységszintű szervezeti elemet hoztak létre, amely teljes egészében páncélos légi gépesített.

De nemcsak arról van szó, hogy a korábban alkalmazott légi gépesítési modelleket valamelyik irányban bővítik a korszerű haderők. *Megkezdődött a modellek egyidejű alkalmazásának szükségességét hangsúlyozó doktrína-fejlesztési tevékenység* is, ami alapjaiban befolyásolhatja a jövő légideszant szervezeteinek szervezet-fejlesztését. Amerikai teoretikusok (Air Mech Strike Study Group) szerint páncélozott harcjárművekkel megvalósított *könnyű* (Wiesel amerikai változatából szervezett alegységek), *közepes* (Stryker danárok) és *nehéz* (a Sheridant váltó M8 AGS páncélozott

lövegrendszeren alapuló harckocsizó) *légi gépesített szervezetek* optimális esetben *egymást kiegészítve képezhetik egy (vagy több együttműködő) korszerű légi gépesített szervezet részét.*

Az egymástól eltérő modellek kialakulásának fő oka elsősorban a pénzügyi lehetőségek korlátos volta miatt legnehezebben fejleszthető elem, a légi szállító kapacitás szűkössége volt. Egy mindhárom légi gépesítési kategóriát egyszerre felvonultató légideszant szervezet költségei emiatt igen jelentősek lehetnek. Ekkora anyagi terhet napjainkban vélhetően csak az Egyesült Államok vállalhatna fel. A jelenleg folyó M8 AGS program és az alapharckocsik deszantolásán alapuló páncélozott harccsoportok a *nehéz páncélozott légi gépesítés*, míg a Stryker dandárok felállítása a *közepes páncélozott légi gépesítés* területén jelent áttörést. Ezzel összefüggésben az amerikai teoretikusok – egy *komplex, mindhárom kategóriában páncélozott légi gépesített légideszant erő* létrehozása érdekében - a *könnyű páncélozott légi gépesítés* területén eredményre vezető Wiesel harcjárművek széles körű rendszeresítése mellett tették le voksukat (amelyből 7 db-ot kísérleti céllal be is szerzett az Egyesült Államok hadereje). Kétségtelenül ez a szervezetfejlesztési lépés jár a legkisebb költségvonzattal, emellett a légi szállító kapacitás tekintetében is a már meglévő nagyszámú közepes szállító helikopterre és repülőgépre épít. A komplex, mindhárom szinten légi gépesített légideszant szervezet létrehozása tehát ma még nem következett be, de a közeljövőben megvalósulhat.

ÖSSZEGZÉS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

Összességében a korszerű légideszant szervezetek kialakulása előzményeinek és a légideszant-képességek fejlődésének elemzéséből arra a következtetésre jutottunk, hogy két időszak van a légideszantok fejlődésében, amely magas szintű fejlettséget mutat. Az egyik a második világháború időszaka, míg a másik az Öböl-háborúk és az Afganisztáni háborúk időszaka. E felismerés mentén könyvünk első kötetében a teljesség igényével törekedtünk bemutatni a második világháborús légideszantok alkalmazási, szervezeti és haditechnikai kérdéseit, míg a második kötetben – az ötvenes-hatvanas évekből kiragadott néhány példa említése mellett – főként a hetvenes évektől napjainkig gerjedő időszak elemzésére fektettünk súlyt.

Könyvünket bemutató tanulmányunkban ismertettük az ejtőernyős, helikopteres és repülőgépes légi szállítású légideszantok egy-egy jellegzetes, légi gépesítéshez – azaz harc- és gépjárművek alkalmazásához – kötődő műveletét, amelyek – továbbá a könyvünkben elvégzett részletes műveleti elemzések - alapján bizonyítottnak látjuk, hogy a harc- és gépjárművek alkalmazása napjainkra szerves részét képezik a korszerű légideszantok harceljárásának.

A tanulmányban egy-egy kiragadott példaként ismertetett harcjárművek és a kijuttatásukra, illetve deszantolásukra alkalmas légi járművek és teherdeszant-eszközök ismertetése alapján elmondható, hogy ezek a haditechnikai eszközök napjainkban is folyamatos fejlődés alatt állnak, fejlődésüket számos nehezen megoldható hadmérnöki feladat jellemzi. A közepes-, majd a jövőben a nehéz szállító konvertiplánok széles körű elterjedése, a megfelelő terepképes futóművel és STOL tulajdonságokkal

rendelkező szállító repülőgépek rendszeresítése, illetve a nagy tömegű eszközök kis magasságú ejtőernyős kijuttatására alkalmas teherdeszant rendszerek fejlesztése egyaránt nehéz feladatot jelent, de problematikus terület a megfelelő védettséggel, tűzerővel és mozgékonysággal rendelkező, ugyanakkor kis tömegű és méretű, a légiszállítás igényeit is kielégítő légideszánt harcjármű létrehozása is.

Törekedve az alkalmazás, a haditechnika és a szervezetek jellemzőinek együttes, komplex vizsgálatát előtérbe helyező, korábban is alkalmazott módszerünk következetes folytatására, tanulmányunkat *a légi gépesített szervezetek páncélos-szervezet szerinti felosztási* modelljének ismertetésével zártuk, bemutatva, hogy a légideszantok harcjárművekkel történő ellátása – haderőmérettől, gazdasági erőforrásoktól és ennek következtében a rendelkezésre álló légi szállító kapacitás struktúrájától függően – egymástól jelentős mértékben eltérő úton is megoldható.

FELHASZNÁLT IRODALOM

A modern haditechnika enciklopédiája, Guliver kiadó, Budapest 2001.
BAGI József: A BMD-4 deszantharcjármű. Haditechnika, 2009. évi 2. szám
BARKOVITS István: Az „olajlégió" – a gyorsreagálású erők. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1983.
BATCHELOR, John – LOVE, Malcolm: A repülés enciklopédiája 1945-2005. Gabo kiadó, Bp., 2006.
BOMBAY – GYARMATI – TURCSÁNYI: Harckocsik 1916-tól napjainkig, Zrínyi, Budapest, 1999.
DOMBI Lőrinc: Selyemkupolák: fejezetek az ejtőernyő történetéből. Zrínyi, Budapest, 1993.
MICHELETTI, Eric: Special Forces: War Against Saddam Hussein. Histoire and Collections, Paris, 2006.
FM 100-5 Tábori kézikönyv: Hadműveletek. Kiadja a MH Vezérkara, Bausz Kft, Budapest, 1997.
FM 71-100-3 US ARMY Field Manuals, Air Assault Operations, Introduction.
FORTY, George: Tankok világenciklopédiája. Athenaeum, Budapest, 2005.
GRANGE – WASS – LIEBERT – JARNOT – HUBER – SPARKS: Air-Mech-Stryke. Assymetric Maneuver Warfare for the 21st Century. Turner Publishing Company, Paducah, 2002.
GUDERIAN, Heinz: Riadó! Páncélosok! A páncélos fegyvernem fejlődése, harcászata és hadműveleti lehetőségei. Kossuth, Budapest, 1999.
HALBERSTADT, Hans: Tüzérségi eszközök a középkortól napjainkig. Hajja és Fiai K., Debrecen, 2003.
HEGEDŰS Ernő: A légideszantok fejlődése a második világháborúban és hatása napjaink légi gépesítési törekvéseire. PhD értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2009.
HEGEDŰS Ernő: A közvetlen támogató repülő eszközök fejlődése és szerepe a második világháborúban, különös tekintettel a légideszantcsapatok harcára A ZMNE BJKMK Repülőműszaki Intézet konferencia előadása, Szolnok, 2005 április 21.
Hosszú idő után az A400M az első repülése felé halad. Tájékoztató a külföldi repülési szakfolyóiratokban megjelent fontosabb cikkekről és információkról. MH ÖHP RMMF-ség kiadványa. 2008. 1. sz.
HUNTER, H. J. – WUEST, M.J.: Földközeli, légi-személyzet ledobás. AIAA. 1989-0887-PC. In: Ejtőernyős Tájékoztató, LRI, 1997. évi 1. sz.
INGRAM, Jeffrey D.: Where is the Heavy-Light Organization in the Army 's Future Force? School of Advanced Military Studies, Fort Leavenworth, 2005.
JUREK Aurél: Belsőégésű motorok. Tankönyvkiadó, Budapest, 1961.
KŐSZEGVÁRI Tibor: Katonai stratégiák és doktrínák a hidegháború korszakában. ZMNE Budapest, 2000.
LAUR, Timothy M. – Llanso, Stephen M. Encyclopedia of Modern U.S. Military Weapons. Berkley Books, New York, 1995.
BRABENEC, Miloš: Csapás a harmadik dimenzióból. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1972.
ÖRLEY György – Varga István: Katonai légi szállítás. Szárazföldi Haderő, 2006. évi IV. évf. 3. sz.
JONES, Robert W.: Team Tank: Armor in Support of Special Operations. Veritas, 2005/4. sz.
SZAGAJAK. P. – CIGANOK, A.: Légideszantok alkalmazása a Nagy Honvédő Háborúban. Hadtörténelmi Közlemények, 1962. 1. sz.
SZENTESI György: Katonai repülőgépek és helikopterek. Zrínyi Könyvkiadó, Budapest, 1987.
SZKACSKO – SZERGEJEV – BELONOVSZKIJ – SISKIN – MARJUTYIN – VASZILIJEV: Harckocsik és harckocsicsapatok. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1982.
TÓTH Lóránd: Ejtőernyős deszant. Zrínyi Kiadó, Budapest, 1986.
TUHACSEVSZKIJ válogatott művei. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1975.
TURCSÁNYI Károly: A haderő harckocsi igénykielégítési folyamatának makroszemléletű vizsgálata. Doktori értekezés, Budapest, 2008.
TURCSÁNYI Károly - HEGEDŰS Ernő: A brit és az amerikai légideszant fegyvernem alkalmazásának, szervezetének és haditechnikai eszközeinek fejlődése (1930-1945) Katonai Logisztika 2006. 1. sz. és 2006. 2. sz.

TURCSÁNYI Károly - HEGEDŰS Ernő: A német légideszant fegyvernem alkalmazásának, szervezetének és haditechnikai eszközeinek fejlődése (1930-1945) Katonai Logisztika 2005. 1. sz. és 2005. 3. sz.
TURCSÁNYI Károly - HEGEDŰS Ernő: A szovjet légideszant fegyvernem alkalmazásának, szervezetének és haditechnikai eszközeinek fejlődése (1930-1945) Katonai Logisztika 2004. 4. sz.
TURCSÁNYI Károly - HEGEDŰS Ernő: Bevezető gondolatok a légideszant és légi szállítású csapatok alkalmazásának, szervezetének és haditechnikai eszközeinek vizsgálatához Katonai Logisztika 2004. 12. évf. 4. sz.
TURCSÁNYI Károly - VASVÁRI Ferenc: Szógyűjtemény a vezetés-szervezés, a logisztika, a haditechnika területeiről. NATO szakkifejezések és meghatározások szógyűjteménye AAP-6 (V) alapján. ZMNE, Haditechnikai tanszék, Budapest, 2000.
VASS Balázs: Repülőgépek, helikopterek, rakéták. Műszaki könyvkiadó, 1982. Budapest.
WRIGHT, R. K. – GREENWOOD, J. T.: Airborne Forces at War. Naval Institute Press, Annapolis, 2007.
ZICHERMAN István : Az orosz ejtőernyős alakulatok története. Anno kiadó, Budapest, 2006.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Hennel Sándor okl. mk. szds

LÉGI JÁRMŰVEK REPÜLŐTÉREN KÍVÜLI SZÜKSÉGLESZÁLLÓHELYEINEK HARCÁSZATI KORLÁTAI, ALKALMAZHATÓSÁGA, KIALAKULÁSÁNAK KÖRÜLMÉNYEI

Vizsgálatom a légi járművek katonai, rendvédelmi alkalmazási korlátainak megismerésére, feltárására, illetve ezen korlátok tágítására irányul. A repülőtéren kívüli üzemelés kulcskérdés ezen határok elmozdításában. A hatnapos háború tükrében kívánom bemutatni a fejlesztési irányok módosulását, az új eszközöket, a harceljárásokat és megjelenésük okait.

KIINDULÓPONT

A második világháború technikai fejlesztési hulláma kikényszerített számos briliáns megoldást, amellyel speciális feladatokat tudtak megoldani, ugyanakkor új fejlesztési irányokat is meghatározott. (Pl.: vitorlázó repülőgépes deszant csapat szállítás, speciális bombák alkalmazása, légi tüzérségi megfigyelés, stb.) A légi járművek zöme a mai napig alapvetően repterekről üzemel speciális fel- és leszállási, valamint kiszolgálási körülményeik miatt. Talán ez adja a leggyengébb, legsebezhetőbb pontját harcászati alkalmazásuknak.

Izrael a hatnapos háborúban egy váratlan légi csapás sorozatban még a földön megsemmisítette az egyébként jelentős létszámfölényben lévő ellenséges repülőgépparkot, és így azonnal elsöprő légi fölényre tett szert a térségben. Ez a mozzanat a háború további alakulását is alapvetően meghatározta.
A hatnapos háború tapasztalatai ugyanakkor megújították a harci eljárások fejlődésének koncepcióját és a hozzá tartozó eszközök speciális viszonyok közötti üzemeltetésének lehetőségeit. Felvetették továbbá azt a kérdést is, hogy a meglévő eszközök üzemeltetéséhez a továbbiakban milyen változtatásokra van szükség, amely körülmény egyértelműen lökést adott a helikopterek fejlődéséhez. Új irányt mutatott ugyanakkor a helyből felszálló repülőgépek, repülőgép-hordozók és új harceljárások kidolgozásához.

A repülőtéren kívüli szükségleszállóhelyek alkalmazása részlegesen ugyan, de megoldást jelent sok problémára. A hidegháború évei alatt minden civil létesítmény tervezése során egyúttal felkészültek egy esetleges katonai célú átállás körülményeire is.

A légi járművek szerepe korunk hadviselésében egyre nagyobb teret nyer. A hatalmas fejlesztési és üzemeltetési költségek ellenére mégis egyre nagyobb felhasználási palettán tartanak rájuk igényt;

ehhez kapcsolódóan további vizsgálódási irányok lehetnek a légi járművek költséghatékonyabbá tétele, illetve azok speciálisan adott feladathoz történő fejlesztése, átalakítása.

Történelmi áttekintés

A XX. század elején a repülőgépek rohamos fejlődésével azonnal kiderült az is, hogy a hadviselés sosem lesz többé olyan, mint annak előtte. Már a II. világháborút megelőzően is a korábbiakhoz képest teljesen más dimenzióban zajló, újfajta háborúra készülődtek. Ennek a koncepciónak központi eleme immáron a légierő volt, hisz nagy távolságból a gyorsmozgású légi járművek váratlan csapást tudtak mérni katonai egységekre, konvojokra, hajókra, objektumokra. Váratlan támadásuk elhárítása a nagy sebesség miatt is nehézkessé vált. A hadviselés céljának és a háború megvívásának alapja és meghatározó eleme ettől kezdve a légi fölény kivívása lett.

A légierő fejlesztési költségek ugyanakkor a csillagos égbe szöktek. Új feladatú repülőgépek előállítására, és ezen feladatok ellenoldalú elhárítására mind nagyobb és nagyobb figyelem, valamint ezzel egyidejűleg politikai és katonai elszántság összpontosult. A mind magasabb szinten elért technikai eredmények, valamint az új lehetséges katonai feladatok miatti specializálás, technikai áldozatokkal járt.

Technikai áttekintés

Vizsgáljuk meg a kérdést egy kézenfekvő példán keresztül. Nyilvánvaló, hogy a jobb repülési teljesítmény eléréséhez nagyobb vonóerőre, kisebb tömegre, áramvonalasabb formára van szükség. Az áramvonalasabb forma és az alacsonyabb súly miatt fel kellett áldozni a légi jármű földön való közlekedésének egy részét, így a gép stabilitása, a fékezhetősége, és az út egyenetlenségeivel szembeni toleranciája korlátozásokat szenvedett. Gyengébb fékrendszer alkalmazásával, gyengébb futómű tervezésével a gép súlyát csökkenthetjük, de a leszállási úthossz nő, rosszul kiszámított leszállás esetén pedig jelentősen megnő a gép sérülésének esélye. Alapvetően a levegőben való mozgásra tervezett gép esetében azonban ezekből a tulajdonságokból lehet is engedni. Az alapkiképzésre tervezett oktatógép kevesebb, míg egy vadászrepülőgép több engedményt tud tenni. A kiképzés során a növendék hibázási esélye nagyobb és mindenképpen a gép által tolerálandó, ugyanakkor a vadászgépet rendszerint kiképzett pilóta használja, tőle pedig kevesebb, kisebb hibát várunk.

A peremfeltételek szűkítésével, illetve pontos definiálásával azonban egyéb üzemi paramétert is képesek lehetünk javítani. Például egy űrsikló felbocsátási és visszatérési körülményeihez előírjuk, hogy kizárólag szélcsendben (turbulencia-mentes környezetben) indulhat, illetve térhet vissza. Ezzel az adott esethez teljesen elfogadható üzemeltetési kritériummal (lehetőségünk van szabadon megválasztani az indulási időpontot) a sárkányszerkezet terhelését csökkentettük, és ezen keresztül a konstrukció súlyát is. Az űrbe juttatható eszközöknek a mennyiségét így növeli tudtuk, hiszen ez is volt az alapfeladatunk. Ugyanakkor, az utasszállító repülőgépeknél ilyen lehetőségünk nincsen, épp

ellenkezőleg, a minimumra kell csökkenteni azon időjárási körülményeknek a számát, amikor a gép nem képes a tervezett feladatot végrehajtani.

A peremfeltételek szűkítésével és észszerűen elfogadható feltételek betartásával a mozgásterünk leszűkül. Egyértelmű, hogy felszállópályáról illetve repülőtérről vagyunk kénytelenek üzemelni. Napjainkban a repülőtér már nem csupán egy felszállópályát és guruló utakat jelent. A mögötte húzódó infrastruktúra, speciális kialakítások, szervezési- és szervezeti körülmények nemcsak a légi jármű, hanem a már szinte irreálisan magas működési-biztonsági követelmények kielégítését is szolgálják.

- A felszállópálya és guruló utak biztosítják a nagytömegű, nagy ballonnyomású légi járművek számára a fel- és leszállást és mozgását a munkaterületen.
- Hogy ezt minden időjárási viszony esetén meg tudja tenni, gondoskodnak a repülőtér folyamatos karbantartásáról, és a pálya tapadási-súrlódási együtthatóját is folyamatosan mérik.
- Fénytechnikai berendezéseket üzemeltetnek nappal és éjszaka egyaránt. (felszállópálya világítás, szegélyfények, navigációs fények, vizuális bevezető fénysor, guruló út világítás, állóhely világítás, információs táblák megvilágítása, akadály megvilágítás a repülőtéren és annak 15 km-es körzetében egyaránt, stb.)
- Időjárási viszonyoktól függően navigációs rendszereket alkalmaznak. (ILS, VOR, DME, NDB)
- A légi járművek közötti légi és földi koordinációt és kommunikációt a felelősségi körzetekre felbontott irányítói központ kezeli.
- A kommunikáció megvalósulásáért rádió központot üzemeltetnek.
- A repüléshez szükséges előzetes földi koordinációhoz repülés bejelentő szolgálat működik.
- A repülést zavaró vagy veszélyeztető időjárási tevékenységek előrejelzésére és tájékoztatására meteorológiai szolgálatot üzemeltetnek.
- Gondoskodnak a légi járművek üzemanyaggal, oxigénnel, levegővel, vízzel és élelemmel való felöltéséről, ezen anyagok tárolásáról.
- Műszaki jellegű háttérmunkák elvégzéséhez helyet, eszközt és szaktudást biztosítanak a repülőtéren.
- Teljes adminisztrációs háttérbázist, így különösen parancsnokságot, hadműveleti központot, tervezőket, vámhivatalt, felügyeleti hatósági jogkörök gyakorlóit biztosítják a helyszínen.
- A folyamatos őrszolgálat szavatolja a biztonságot
- Mindezek üzemeltetése, a meghibásodások azonnali javítása, áramkiesés esetén vészáramforrások indítása, valamint a 24 órás rendelkezésre állás is hozzá tartozik a repülőtér üzemeltetéséhez.

Mindezen körülmények mellett látható, hogy egy repülőtér nemcsak a fel- és leszállásra alkalmas terület, hanem teljes háttérbázisa az adott repülőgép kiszolgálásának. [1]

Ilyen körülmények között érthető, hogy az értéke is igen magas egy repülőtérnek.

A Budapest Airport Rt. privatizációján 464,5 milliárd forintos azonnali tranzakciós ellenértékkel a brit BAA International Ltd. tette a legjobb ajánlatot. 2005. június - az Állami Privatizációs és Vagyonkezelő Rt. honlapján közölt kiírás szerint a tulajdonos kétfordulós pályázaton értékesítette a Budapest Airport Rt. 75 százalék mínusz 1 szavazatot kitevő tulajdonrészét. [2]

Nagy értékük és felhalmozott értéksűrűségük, valamint potenciális veszély helyzetük miatt ezen légikikötők elsődleges célpontokká váltak.

A HATNAPOS HÁBORÚ ÉS HARCÁSZATA

A világháborús tapasztalatok

Németország a Második Világháborúban a Szovjetunió megtámadásakor a gyors elsöprő légitámadásaival a kezdetekben jelentős légifölényre tett szert, de a háború kimenetele miatt mégsem mutatja a hadművelet sikerességét.

1.ábra. Me-262 vadászgépek a II. Világ háborúban kitelepült körülmények között [3]

(Az 1941. június 22-én kezdődő, első csapásmérő He-111 és Ju-88 típusú bombázók egy hét alatt közel 6000 repülőgépet semmisítettek meg, nagytöbbségét még a földön; 1810-et még a támadás kezdetének első napján, majd az ezt követő napokban, egészen a hónap végéig, azaz június 28-ig 1570 repülőgép semmisült meg a Középső hadszíntéren, 1360 darab a Déli- és 1211 darab repülőgép a Balti hadszíntéren.) [4]

A Hatnapos Háború

Bár a harceljárás – mely a hatnapos háborút sikerre vitte - már korábban is ismert volt, mégis a hatnapos háborút vettem górcső alá. Ebben az esetben könnyen belátható és jól érzékeltethető a fegyveres konfliktus kimenetele a légierő alkalmazási viszonyai szerint.

A 1967-ben Nasszer egyiptomi elnök által összekovácsolt négyes szövetség tagjai (Egyiptom, Jordánia, Szíria, Irak) elkötelezte magát egy Izrael elleni nagy háborúra. Főként szovjet forrásokból több, mint 1800 harckocsit, 660 harci repülőt és egy gigantikus, 364 ezer fős, jól felfegyverzett hadsereget állítottak föl határaikon. Az izraeli haderő ezzel szemben alig 800 harckocsival, 300 harci géppel, valamint 264 000 fős, francia-brit és kis részben amerikai forrásokból felfegyverzett, motivált haderővel készült a teljes megsemmisüléssel fenyegető háborúra. Az Akabai-öböl bejáratának elzárásakor kirobbant válság lett az elkerülhetetlen konfliktus gyújtószikrája. [5]

1967. június 5. Az Izraeli Légierő légi támadást intézett mind a négy ellenséges ország légiereje ellen, a támadásban a teljes izraeli légierő részt vett. Az eredmény megsemmisítő volt: az arab államok teljes légierejének 75%-a elpusztult egyetlen nap alatt. A megsemmisült 452 gép nagy részét még a kifutópályán érte el a végzete. Izrael 1967. június 5-én hirtelen a közel-keleti légtér abszolút urává vált.
1967. június 6. A biztos légi fölény fedezetében megindultak a szárazföldi támadások is. Az évekig épített Sínai-félszigeti erődrendszer egy nap alatt az összeomlás szélére került.
1967. június 7. Izrael ejtőernyős hadosztálya merész támadást intézett a Jeruzsálemet két napja zárótűz alatt tartó jordán elit csapatok, az Arab Légió ellen. Izraeli elitalakulatok megrohamozták a jordán erődítményeket, és a nap végére elfoglalták Jeruzsálemet. A Jordánon túlra szorították mind az öt jordániai hadosztályt. Jordánia még aznap kilépett a háborúból.
1967. június 8. Ezen a napon zajlott le a világtörténelem egyik legnagyobb páncélos csatája. 1000 tank vívott sorsdöntő ütközetet a kulcsfontosságú Mitle-szorosban. Izrael győzelmével Egyiptom elfogadta a tűzszünetet.
1967. június 9. Szíria tüzérségi támadásai felett Izrael a Golán fennsíkon aratott győzelmet. Szíria másnap fegyverszünetet kért, és izraeli győzelemmel zárult a hatnapos háború. [6]

A hatalmas túlerővel szemben nem győzhettek volna egy minden szegmenst felölelő, átfogó gondolkodásmód nélkül. A szárazföldi erők jelentős létszámbeli és technikai fölényét nem tudták volna érvényesíteni az arab országok légi fölény nélkül. Ezt a légi fölényt az első napon a „Fókusz hadművelet" *„Operation Moked"* során vívták ki.

A Fókusz hadművelet

A hadművelet 1967. június 5-én reggel 07:45 indult. Az izraeli légierő hadra fogható repülőgépeinek 95%, 196-ból 184 részt vett a támadásban. A maradék 12 helyi légtérvédelmi feladatokra maradt hátra. Három hullámban támadtak: a repülőtereket bombázással a felszállópályát használhatatlanná téve, majd ezt követően a fedezék nélkül a szabadban tárolt gépeket a földön megsemmisítették. Az első hullámban 8 radar állomást, 11 repülőteret támadtak, 197 egyiptomi repülőgépet megsemmisítve. A második hullám 09:30-kor kezdődött: gyors üzemanyag és lőszer feltöltés után, újabb 14 repteret támadtak, 107 egyiptomi gépet semmisítettek meg a földön, és a levegőben csak két szíriai gépet. A harmadik hullám 12:15-kor, 85 gép bevetésével, egyiptomi, szíriai, jordániai és iraki célok támadására indult. Délután 17:20–kor, a negyedik hullámmal zárult a hadművelet. A műveleti célt elérték, az arab

államok teljes légierejének 75%-a elpusztult egyetlen nap alatt. A megsemmisült 452 gép nagy részét még a kifutópályán elérte a végzete, és így a térségben kivívták az abszolút légi fölényt. Teljes mérleg: Izrael oldalán 19 elvesztett repülőgép, az arab szövetség oldalán 330 db vadászgép, 62 db bombázó, 44 db szállító repülőgép, és 16 db helikopter. [7],[8]

A hadművelet sikerességét nagymértékben segítette a BLU–107 Durandal légibomba prototípusa, amelyet speciálisan beton objektumok támadására, felszállópálya rombolására fejlesztettek, amelyet francia-izraeli együttműködéssel, a MATRA gyár állított elő. Később a légibomba továbbfejlesztésével együtt magas hatékonysággal állították rendszerbe. A Durandal kis magasságból (60 méter) indítható bomba. Oldás után egy fékező ernyő lelassítja, és a cél irányába fordítja, majd egy gyorsító rakéta a betonba lövi. Az ütközési energia hatására 40 centiméter mélyen a felszállópálya szintje alá fúródik, és ott késleltetés után robban. A robbanás rendszerint 5-15 méter átmérőjű krátert, károsodott területet okoz.

2.ábra. BLU-107 Durandal [9]

A Durandal-nak 200 kilogramm a teljes súlya és 2,7 méter hosszú, a robbanófej pedig 100 kilógramm robbanóanyagot tartalmaz. A kismagasságú indítás nagy célba juttatási pontosságot garantál (mint a képen is látható), fékezőernyővel nemcsak a meredek szögű becsapódást, de a gép biztonságos eltávolodását is garantálják. [10],[9]

Ez a fejlesztési irány is megerősíti, hogy hosszas előkészületek előzték meg ezt a hadműveletet. Izrael állam megalakulása óta számolt a háború lehetőségével, és tudta, hogy az Arab országok környezetében véráldozattal kell megtartania függetlenségét.

A hat nap értékelése

Felmerül a kérdés az ismert harceljárás mellett, hogy háború közeli politikai helyzetben mégis hogyan lehetséges az, hogy sikerrel véghez lehetett vinni egy ilyen átfogó hadászati vállalkozást, mint a Fókusz hadművelet. A válasz alapja a felderítési információk pontos és megfelelő időben történő

helyes beszerzésében keresendő. A Moszad felderítési tevékenysége alapján a katonai vezetés tervezni tudott. Egyiptom ugyanis az egész légvédelmi rendszerét leállította, mert félt, hogy az egyiptomi lázadó erők lelövik az Amer tábornagyot és Sidqi Mahmoud altábornagyot szállító repülőgépet, útban Maza-ból a Sínai-félszigeten fekvő Bir Tamadába, hogy találkozzanak az ott tartózkodó parancsnokokkal. A radar felderítés kiiktatásával a légi támadás még váratlanabbul érkezett.

Arról, hogy az egyiptomi felderítés milyen információkra támaszkodott a tekintetben, hogy ennek a repülőgépnek a lelövését tervezik, és miért a védelmi rendszer hatástalanítása bizonyult a legjobb megoldásnak ebben a helyzetben, nincs pontos adatunk.

Az átütő hadműveleti siker következményeinek plasztikus megjelenése, hogy a későbbi műszaki, szervezeti, harcászati, fejlesztéseknek katalizátora lett.

FEJLESZTÉSEK, KÖVETKEZMÉNYEK

A hidegháború időszakában a haderőfejlesztések anyagi forrásokat nem kímélve, a technikai eszközök fejlesztésére, újak létrehozására, és a meglévők megóvására koncentráltak.

A hatnapos háború tapasztalatai között a repülőtér és annak üzemeltetési feltételei, katonai felhasználhatóságának részei és egésze problémaként tűnt elő. A magas szinten felépített repülőtér komplexum rendszerként is kiválóan működött. A logisztikai csoda, hogy egy helyben a 7M szabály szerint megfelelő anyag, -mennyiségben, -minőségben, -időpontban, -helyre, -költséggel összpontosulni tud, és ez hosszútávon fenntartható.

A biztonság szavatolása és a hadi eszközök alkalmazási pontjainak bizonytalansága megnehezíti az ilyenfajta légikikötők működését, létjogosultságát. (A műveleti terület körzetében nincsen repülőtér vagy nem saját fennhatóság alatt.)

A létrehozott repülőtér komplexumok előnyei és hátrányai, alkalmazási korlátai

A peremfeltételek szűkítése mellett létrehozott légi járműveket mégis olyan módon akarjuk használni, hogy a gép tervezési alapjait ne veszítsük el (vagy az csak kis mértékben torzuljon), de mégis a körülményeknek megfelelő, eddigitől eltérő rendszert, lehetőséget hozzunk létre. Ilyen és ehhez hasonló új fejlesztési irányok alapozódtak meg, melyek költségvetési támogatása a hatnapos háború „precedense” miatt világszerte megerősödött.

Beigazolódni látszott továbbá a hosszú távú létjogosultsága egy vízről repülőgépet indítani és fogadni képes bázisnak, a repülőgép hordozónak is. A helyből fel- és leszállni képes Harrier vadászrepülőgép program ötvözni próbálta a nagysebességű vadászrepülőgép és a speciális leszállóhelyet nem igénylő helikopter előnyeit. Megindult tehát a fejlesztés a helikopterszerű üzemelésre képes csapat- és teherszállító járműre (például: v-22 osprey), valamint a helikopterre, mint repülőtéren kívüli működésre képes csapatszállító, felderítő, csapásmérő erőre. Ezek részletes elemzése további vizsgálatot igényel.

A meglévő légi járművek biztonsága érdekében a repülőtér védelmi rendszerek is megerősödtek. Mindezek mellett a legnagyobb harcászati előnyt, a támadásban a meglepetést és a védelemben a legnagyobb védettséget mégis az ismeretlen területre váratlan kitelepüléssel járó szükségleszállóhelyek jelentették, jelentik ma is.

Szükség leszállóhelyek

Az autópálya-szükségrepülőtér olyan autópálya vagy útszakasz, amelyet tervezési sajátosságainál fogva később könnyen katonai alkalmazásba lehet venni, repülőtérré lehet alakítani. A hidegháború időszakában Kelet- és Nyugat Németország, Svájc, Ausztria, Csehszlovákia, Finnország, Lengyelország valamint Svédország épített és használt ilyen útszakaszokat.

3.ábra C-130-as leszállásban egy szükségrepülőtéren [13]

A hidegháború befejeződésével változott a politikai irányokkal együtt a katonai fejlesztéseknek a hangsúlya, és az alkalmazott harceljárások illetve a háborús készenlétben tartott katonai- és civil erők mennyisége és struktúrája is. A szükségleszállóhelyek használata megszűnt, vagy minimálisra redukálódott.

4.ábra. Szükségleszállóhely Suwon South Corea, A29 Bréma [11],[3]

A szükségleszállóhely nagyjából hasonló terhelési viszonyokra tervezett, mint egy felszállópálya. Az e célra is szánt autópálya általában két, két és fél, három kilométer hosszú, vízszintes útszakasz, amely felett nem találunk felüljárót, nagyfeszültségű elektromos vezetéket. Az építés során ezen a szakaszon nem használtak nagyméretű útjelölő, információs táblákat és a sávelválasztást zöldsáv helyett könnyen felszedhető szalagkorláttal vagy szegélyjelzővel oldották meg. Egybefüggő betonfelületet alkottak, valamint az autópálya katonai felhasználásának idejére alternatív elterelő utakat biztosítottak. A leszállóhely két végén egy-egy, a repülőgépek tárolására, előkészítésére, töltésére alkalmas betonozott területet is kialakítottak.

5. ábra. Speciális kialakítású szalagkorlát [3]

A repülőtérré alakításhoz mobil, járműre szerelt vagy gyorsan telepíthető eszközöket készítettek. (Mobil légiirányító központ, üzemanyagtöltő kocsik és tartályok, NDB rádió navigációs eszközök, telepíthető fénytechnikai eszközök, energiaellátás.) [12],[13],[19]

6.ábra. Mobil kiszolgáló egységek [3]

A szakirodalom számos helyen felsorolja és részletezi a használatban lévő és a már használaton kívüli szükségrepülőterek listáját, de valójában ezen leszállóhelyek száma ettől jóval magasabb. Nemcsak kiépített területekre kell gondolnunk, hiszen a svéd modellnek megfelelően egy átlagos főút is elegendő lehet e célra. Svédországban ugyanis elterjedt harceljárásként alkalmazva a legegyszerűbb változatra törekedtek, amely támadásban és védekezésben is egyaránt alkalmazható. A hidegháborús Európa egyik legnagyobb légierejét fenntartó Svédország saját önálló repülőgép, vadászrepülőgép kutatás-fejlesztést tartott fenn. A saját „iskola" alapítása egyben kizárta a korábbi általános sablonok alkalmazását, és nem engedte befolyásolni az önálló kutatási tevékenységet a bebetonozottnak látszó tézisek által. A tervezési optimalizálásban is sorra jelentek meg Svédországban a harcászati célok elérését könnyítő kialakítások, és már a repülőgép formáját tekintve is a kortársakétól eltérő konstrukciók születtek.

Szükségrepülőterek kijelölésénél figyelembe kell venni az adott útszakasz szélességét is. Az autópálya sávszélessége 3,75 m /sáv, teljes szélesség a leállósávot is beleértve 26,6 méter 2x2 sáv esetén, és 35,5 méter 3x2 sáv esetén. Az autóút sávszélessége 3,5 méter, teljes szélessége pedig (koronaszélesség) 25,6 méter. [14]

A repülőterek rendszerint a felszállópálya és a guruló utak terhelhetőségére jellemző számot, úgynevezett LCN és PCN értékeket határoznak meg. A repülőgépnek (szerkezetre meghatározott) ACN értéke van, amellyel egyértelműen meghatározható, hogy az adott légi jármű igénybe veheti-e, - illetve ha igen, milyen esetleges korlátozásokkal – a légikikötőt. A szükségreptereknél és a leszállásra kijelölt egyéb útszakaszoknál ezen értékeket szintén meg kell határozni, illetve át kell számítani. [14]

A leszállóhely kiválasztásának módszere, szerkezeti és kialakítási megfelelőssége további vizsgálatot igényel.

HARCÁSZATI ALTERNATÍVÁK

A repülőtérről üzemelés és a szükség leszállóhelyek alkalmazása technikai, szervezeti, illetve a harcmodor változtatását, módosítását is megkívánta.

Új irányt mutatott a Harrier (Szovjet oldalon a Yak-36, Yak-38, német oldalon a VAK-191) mint helyből felszállni képes vadász és támadó repülőgép kialakításához. A Harrier esetében a felszállópályát teljesen nélkülözni lehet, ezért haditengerészeti alkalmazási köre nagymértékben megnyílt.

További lendületet vett és az addigi eredmények létjogosultságát bizonyította a repülőgép hordozók alkalmazása. Védelmi rendszerük talán minden eddiginél hatékonyabb, amivel meg lehet óvni egy támaszpontot, s habár a közvetlen fedélzeti fegyverei gyengék, de a szállított repülőgépek és felderítési eszközök mellett nem lehet számára meglepetést okozni. Harceljárásuk kiegészül azzal, hogy mindig több kísérőhajóval együtt állomásoznak. Offenzív vonatkozásban kifejezetten verhetetlen, hiszen a világ bármely pontján bevethető rövid felkészüléssel. Közvetlenül a célterület ideális távolságra közelíthető meg, ahonnan már jól lehet támadást kezdeni, de még a védelem biztosítható. Az atommeghajtásnak köszönhetően ugyanakkor majdhogynem teljesen önellátóak. Egyetlen objektív kritikával lehet illetni, éspedig az ára vonatkozásában. Figyelembe véve azonban, hogy korunk egyik legütőképesebb harcászati eszközéről beszélünk, talán ez a hátrány – folyamatosan bővülő térnyerésük mellett – egyre inkább elhanyagolható.

A megrongálódott felszállópálya mégis használható marad egy rövid fel- és leszálló úthosszú repülőgép számára. A SAAB gyár repülőinek (a Drakken-nek, a Viggen-nek, Grippen-nek) tervezése során ez már kimondottan célként szerepelt. A repülőtéren kívüli fel- és leszállást is megkönnyíti egy rövid nekifutással indulni képes repülő. A VTOL, STOL gépek fejlesztése, illetve a meglévő repülőgépek ennek megfelelő átalakítása, kiegészítő egységek (például startrakéták használata) előállítása is kiszélesedett.

A helyből felszálló csapatszállító repülőgép a V-22 Osprey, 1989. elején repült először. Fedélzetén 32 katona vagy 7,5 tonna teher szállítható. A „saskarom hadművelet” kudarca után ismételten felmerült az igény egy csapatszállító légi járműre, amely a helikopterek és a repülőgépek előnyeit egyesíti, és gyorsan képes deszantot szállítani olyan területre, ahol repülővel nem lehet leszállni.[17]

A már meglévő bázis-repülőtér ötletétől, körülményeitől elszakadni mégsem érdemes. A rajtuk található eszközök védelmét tovább lehet erősíteni. Az álcázás alapvető fontosságú nemcsak az előzetes felderítés alatt, hanem a konkrét támadások alkalmával is. Ennek megfelelően az épületek terepmintát kaptak, az éjszakai támadásra készülve pedig fekete festést. Egyes repülőterek belső munkaterületén fásítással, erdőtelepítéssel igyekeztek láthatatlanná tenni az oltalmazandó objektumokat. A repülőgépek és helikopterek számára fedezékeket építettek ki.

7. ábra Nyitott és zárt fedezék Taszáron és Tökölön [15]

A nyitott fedezékek a repeszhatástól megóvták a gépeket, de a pontos találat elől csak a zárt bunkerek adtak teljes körű védelmet. A zárt bunker kialakítás ugyanakkor a gépek célozhatóságát is meggátolta. A repülőtér tervezéseknél a felszállópálya megsérülése esetére gondolva olyan guruló utat építettek, amely ideiglenesen át tudta venni a feladatát. Terhelhetősége, szélessége, és esetleg az iránya is megegyezett a felszállópályáéval.

Harcászati alternatívát kínál továbbá a már régen ismert, de a XXI. század elején egyre nagyobb teret hódító kisrepülőgépek katonai felhasználása. A dogmatikus gondolkozástól nehezen elszakadó katona-politikusok gyakran átsiklanak az ötleten, hiszen a méretből adódóan az elvárható hatásfok is gyengébbnek bizonyul, viszont a méretből fakadóan mégis számos pozitívum fedezhető fel. Egyik legszembetűnőbb pozitívum például az, hogy egyszerű kialakítása miatt a fajlagosan célba juttatott pusztító eszköz mennyiségének költsége messze a leghatékonyabb. (Elég, ha csak arra gondolunk, hogy egy ellene indított rakéta költsége magasabb vagy a teljes gép értékéhez mérhető.)

8.ábra Socata 235 G [11]

A dugattyús motor miatt a kiáramlott gáz hőmérséklete és mennyisége jóval alacsonyabb, mint a gázturbinás légi járműveké, és ezáltal a hőkövető rakéták találati esélye is romlik. Kisebb sebessége miatt alacsonyabb magasságon képes repülni, ezért a felderíthetősége is komoly mértékben csökken. Olcsósága miatt nagyobb számban lehet használni, még kitelepült körülmények között is. Indulási és érkezési pontja teljesen rejtett maradhat, hiszen érkezéséhez és indulásához nem igényel még betonos területet sem. [18]

ÖSSZEGEZVE

A technika fejlődésével és az ég meghódításával a hadviselés megváltozott. A levegőből érkező váratlan támadások elhárítása a gyorsaság miatt is nehézkessé vált. A hadviselés céljának és a háború megvívásának alapja és meghatározó eleme ettől kezdve a légi fölény kivívása lett.

A bonyolult és feladatra optimalizált légi járművek repülőtér komplexumok alkalmazását szinte nélkülözhetetlenné tették. Nagy értékük és felhalmozott értéksűrűségük, valamint potenciális veszély helyzetük miatt ugyanakkor ezen légikikötők elsődleges célpontokká váltak a légi csapások során.

Izrael a hatnapos háborúban egy légi csapás sorozatban a földön megsemmisítette a létszámfölényben lévő ellenséges repülőgéppark nagy részét, és így légi fölényre tett szert a térségben. Ez a kezdő sikeres hadművelet a háború további alakulását, megnyerését és hadászati céljainak elérését is alapvetően meghatározta. A hatnapos háború tapasztalatai megújították a harci eljárások fejlődésének koncepcióját és a hozzá tartozó eszközök lehetőségeit. Felvetették továbbá azt a kérdést is, hogy a meglévő repülőgépek üzemeltetéséhez a továbbiakban milyen változtatásokra van szükség, amely körülmény lökést adott több haditechnikai ág további fejlesztésének.

RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK [16]:

ILS	(Instrument Landing System)	Műszeres Leszállító Rendszer
NDB	(Non-directional Beacon)	Körsugárzó Irányadó
VOR	(VHF Omni directional Range)	VHF Körsugárzó Rádióirányadó
DME	(Distance Measuring Equipment)	Távolságmérő Berendezés
VTOL	(Vertical Takeoff and Landing)	Függőleges fel-és leszállásra képes légijármű
STOL	(Short Takeoff and Landing)	Rövid nekifutással fel-és leszállásra képes légijármű
PCN	(Pavement classification number)	Burkolat osztályozási szám
ACN	(Aircraft classification number)	Repülőgép osztályozási szám
LCN	(Load classification number)	Terhelés osztályozási szám a repülőgépre

FELHASZNÁLT IRODALOM :

[1] STEIGER ISTVÁN: Repülőgépek Műegyetemi Kiadó, 1999 Azonosító: 70878
[2] http://www.bud.hu/sajtoszoba/kozlemenyek/?article_hid=800 2010.03.14. 22:00
[3] http://www.lostplaces.de/autobahn-notlandeplaetze-nlp.html 2010.03.20. 21:00
[4] FÖLDI PÁL : Luftwaffe Anno Kiadó Budapest ISBN 963 9199 575 99-102 oldal

[5] http://hu.wikipedia.org/wiki/Hatnapos_h%C3%A1bor%C3%BA 2010.03.20. 21:00
[6] http://www.israeli-weapons.com/history/six_day_war/SixDayWar.html 2010.03.20. 21:00
[7] http://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3kusz_hadm%C5%B1velet 2010.03.20. 21:00
[8] http://www.acig.org/artman/publish/article_260.shtml 2010.03.20. 21:00
[9] http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/blu-107-pics.htm 2010.03.20. 21:00
[10] http://hu.wikipedia.org/wiki/Durandal 2010.03.20. 21:00
[11] http://www.airliners.net 2010.03.20. 21:00
[12] http://www.urbanlegends.hu/2008/02/nemzeti-veszhelyzet-autopalyan-leszallo-repulok/ 2010.03.14. 10:45
[13] http://hu.wikipedia.org/wiki/Aut%C3%B3p%C3%A1lyasz%C3%BCks%C3%A9grep%C3%BCl%C5%91t%C3%A9r 2010.03.20. 21:00
[14] DR FI ISTVÁN: Utak és környezetük tervezése 2002. Budapest Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Épületmérnöki Kar Út és Vasútépítési Tanszék.
[15] http://maps.google.com/ 2010.03.20. 21:00
[16] TÓTH JÁNOS : Közelkörzeti Navigáció és repülési eljárások LRI sokszorosításában 2001 LRI S.2001-048
[17] MICHAEL TAYLOR : A modern katonai légierő enciklopédiája Alexandra kiadó ISBN 963 367 196 5
[18] MIKE SPICK – TIM RIPLEY : Korszerű harci repülőgépek Kossuth Könyvkiadó 1993 ISBN 963 09 3683 6
[19] http://www.panzerbaer.de/archiv/bw_notlandeplatz_ahlhorn-a.htm 2010.03.20. 21:00

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Hidvégi Péter[1]

MUNKAHELYI MOTIVÁCIÓ ÉS MUNKAHELYI LÉGKÖR A VÁM- ÉS PÉNZÜGYŐRSÉG SZEMÉLYI ÁLLOMÁNYÁNAK ÉS A RENDÉSZETI SZAKKÖZÉPISKOLÁK OKTATÓINAK EMPIRIKUS VIZSGÁLATA ALAPJÁN

BEVEZETÉS

Munkahelyi motiváció

Mi is a munka motiváció? Pinder (1998) a munkahelyi motivációt úgy írja le, mint a munka belső és külső erőit, ami megindítja a munkával kapcsolatos viselkedést, és meghatározza a formáját, irányát, intenzitását és időtartamát. Munkahelyi motiváció egy közepes hatótávolságú fogalom, amely csak azokra az eseményekre és jelenségekre vonatkozik, melyek az embereknél nyilvánul meg egy munkahelyi környezetben. A meghatározás felismeri azokat a hatásokat, ami környezeti hatások (pl. szervezeti jutalom rendszerek, a munka jellege nem teljesíthető) és az embertől függő hatások (pl. az egyéni szükségletek és motívumok). Alapvető jellemzője a definíciónak az, hogy ez rávilágít arra, hogy a munkahelyi motiváció egy láthatatlan, belső, elméleti konstrukció (Pinder, 1998).

Rókusfalvy (1971) szerint a munka motivációján azoknak az indítékoknak az érvényesülését értük, amelyek arra ösztönöznek, hogy értékalkotó, termelő tevékenységet végezzünk. A munkamotivációnak ilyen általánosan motiváló tényezői például a közösség érdeke, az anyagi motívumok, az erkölcsi indítékok, a családfenntartás szükségletei az egyéni ambíciók.

Munkahelyi motivációt nem lehet közvetlenül mérni. Ezért használunk létrehozott, megalkotott elméleteket, amikor a munkahelyi motivációnak az észlelhető megnyilvánulását mérjük. (Ambrose & Kulik, 1999)

Több munka motivációs tanulmány hangsúlyozta az egyéni különbségeket, és hatásukat a munkahelyi motivációra. Az egyik legkorábbi munkák a munka motiváció és az egyéni különbségek területén a McClellands szükségelmélet, amelyet az 1960-as években mutattak be. Motivációelméletét nem az örökletes jellegű, hanem a tanult szükségletek köré építette, amelyek a különböző társadalmakban, vagy a társadalmi fejlődés különböző szakaszaiban eltérő jelleget mutatnak. (McClelland, 1985).

Három szükségletet különböztetett meg, amelyekkel szervezeti környezetben a motiváció magyarázható:

[1] Eszterházy Károly Főiskola Testnevelés és Sporttudományi Intézet Eger 3300, Leányka út 6. E-mail: hidvegi@ektf.hu Szegedi Tudományegyetem, Neveléstudományi Doktori Iskola, Egészségnevelés Alprogram. Témavezető: Dr. Barabás Katalin

1. A teljesítménymotiváció (achievement need) belső hajtóerő a sikerre, azt tükrözi vissza, hogy mennyire fontos az egyén számára a maga elé kitűzött célok elérése és meghaladása. Az erős teljesítménymotivációval rendelkező emberek olyan kihívó feladatokat választanak, amelyekben saját erőfeszítésükkel kontrollálhatják a végkimenetet, elért előrehaladásukról (legyen az jó vagy gyenge) világos visszajelzést kaphatnak és sikeresen elérhetik a kiválóság kritériumait. A teljesítménymotiváció ellentéte a kudarckerülési motiváció. A kudarckerülők hajlamosak olyan alacsony egyéni célokat kitűzni maguk elé, ahol biztos a siker, vagy éppen olyan magasra rakják a lécet, hogy annak teljesítését senki sem várhatja tőlük komolyan

2. A hatalmi motiváció (power need) belső hajtóerő arra, hogy az egyén hatással, befolyással legyen másokra, kontrollt gyakorolhasson. Az erős hatalmi motivációval rendelkező emberek kedvelik a versengő, konfrontáló helyzeteket, jellemző rájuk az élelmesség, rámenősség, határozottság, hajlamosak az agresszív megnyilvánulásokra, hangoskodásra, erőszakos jellegű cselekvésekre. McClelland arra a következtetésre jutott, hogy a hatalmi motívum is forrása lehet a vezetői hatékonyságnak, annak ellenére, hogy feltételezése szerint azok az emberek, akiknek erősebbek a teljesítmény motívumaik, jobb munkát végeznek, és így hamarabb jutnak előrébb a hatalmi ranglétrán, és ők válnak majd a vállalatok felső vezetőivé.

3. A kapcsolatmotiváció (affiliation need) az elfogadottság, szeretettség iránti vágy. Akinek erősek a kapcsolati motívumai, azok könnyen barátkoznak, kapcsolataikban egyetértésre és egy húron pendülésre, nem a konfrontációra, versengésre törekszenek. Figyelmüket a társas kapcsolatok kialakítására és fenntartására, ápolására fordítják.

A szervezetek számára fontos kérdés, hogy hogyan fokozhatja alkalmazottai motiváltsági szintjét, hogyan érheti el a hatékonyabb munkavégzést, a magasabb teljesítményt, míg az egyén szempontjából az elégedettség, illetve saját céljaik elérése a fontos. Ahhoz, hogy mind az egyén, mind a szervezet szempontjából fontos célokat elérjük az egyének szükségleti- és érték struktúráját is fel kell mérnünk, tehát azt, hogy a dolgozóknak mire van inkább szükségük, mit értékelnek többre. [2]

Herzberg (1959) kétfaktoros elmélete a munka jellemzőit különíti el: elégedettséget a belső (motivátorok) tényezők okoznak, mint felelősség, előléptetés, fejlődési lehetőség, elismerés, a feladat tartalma, jelentősége. A külső tényezők, amelyek nem közvetlenül kapcsolódnak a munkához: vállalati politika és igazgatás, vezetési stílus, munkafeltételek, a vezetővel, munkatársakkal és beosztottakkal való személyes kapcsolatok, beosztás, a munkahely biztonsága, fizetés, jutalmazási rendszer. (Herzberg, 1971; Herzberg, Mausner, & Bloch, Snyderman, 2005; Tietjen & Myers, 1998). Herzberg szerint ezek a tényezők elégedetlenséget okozhatnak, ha nem teljesülnek.

Szervezeti légkör

A szervezeti légkör a szervezeten belüli viselkedés leírását célozza meg**.** Sok kutató idézi Forehandot és Gilmert (1964) akik szerint a szervezeti légkör nem más, mint az, ami leír egy szervezetet, (a) ami

[2] Krasz Katalin: A munkahelyi elégedettség kérdései.
http://erg.bme.hu/oktatas/tleir/gt52m006/munkahelyi_elegedettseg.pdf

megkülönböztet egy szervezetet egy másiktól, és (b) befolyásolják az emberek viselkedését a szervezetben.

Egy fontos elméleti probléma, hogy mi a szervezeti légkör hatása (vagy a munkavállaló megítélése) a szervezeti magatartásra. Feltételezhető, hogy a szervezeti légkör maga is közvetlenül befolyásolja, hogy a munka eredménye pozitív lesz-e (a termelékenység, a megelégedettség, és a motiváció,) vagy negatív, (mint a távolmaradás, a forgalom és a balesetek.)

Litwin és Stringer (1968) szerint a fogalom a munkakörnyezet mérhető jellemzőire vonatkozik, ahogyan azokat az adott munkakörnyezetben élők és dolgozók közvetlen vagy közvetett módon érzékelik. Nyolc aspektust különböztetnek meg:

(1) struktúra és korlátok;

(2) személyes felelősségvállalás, bensőségesség, egymás segítése, támogatása;

(3) jutalmak;

(4) konfliktusok és a konfliktusok vállalása;

(5) normák és elvárások;

(6) szervezeti önazonosság;

(7) lojalitás a csoporthoz;

(8) kockázatok és kockázatvállalás.

Campbell és munkatársai (1970) négy olyan tényezőt határoztak meg, amelyet a szervezeti légkörrel foglalkozó tanulmányok mindegyike megemlít:

− Egyéni autonómia: az egyén lehetősége a felelősségvállalásra, az önállóságra és az egyéni kezdeményezésre;

− A munkakör strukturáltsága: mennyire kialakultak az álláshoz kapcsolódó célkitűzések illetve ezek teljesítésének módozatai és hogyan kommunikálja mindezt a felsőbb menedzsment a vezető felé;

− Jutalom-orientáltság: mennyire jutalmazza a szervezet a munkatársak erőfeszítéseit és kimagasló teljesítményeit;

− Odafigyelés, törődés és támogatás: a felettesektől kapott támogatás és motiváció.

Korábbi kutatásunk (Hídvégi-Müller 2009), mely a Vám-és pénzügyőrség oktatói és nem oktatói állományának (N=715) munkahelyi elégedettségét mérte, azt tapasztaltuk, hogy az oktatók elégedettséggel kapcsolatos kérdésekre vagy állításokra adott válaszok az oktatói állomány magasabb elégedettségi mutatóit eredményezte a hivatásos, nem oktatói állománnyal szemben, melynek okai között az eltérő felelősség és eltérő munkakörülmények álltak.

A VIZSGÁLAT

A vizsgálat célja

Kutatásom célja országos viszonylatban feltárni a Vám-és Pénzügyőrök, és a Rendészeti Szakközépiskolák oktatóinak stressz szintjét, munkahelyi motivációját, munkahelyi légkörét,

szervezettel való elkötelezettségüket, és az előrejutás lehetőségét. Jelen vizsgálatomban igyekeztem feltárni a Vám-és Pénzügyőrség és a Rendészeti Szakközépiskolákban oktatók szervezeti légkörét és munkahelyi motivációját. A Vám-és Pénzügyőrök esetében, a kapott eredmények tükrében egy egészségfejlesztési tervet szeretnék kidolgozni a már meglévő, egészségfejlesztési irányvonalakat figyelembe véve.

A vizsgálati személyek

2009 tavaszán kérdőíves kutatást végeztem a Vám- és Pénzügyőrség dolgozói körében a munkahelyi stressz, munkahelyi elégedettség, munkahelyi motiváció, munkahelyi légkör és elégedettség tesztelésére. A kérdőív 61 db kérdésből állt, melyben zárt kérdéseket alkalmaztam, válaszkategóriákkal. A 900 kiküldött kérdőívből 763 érkezett vissza, de csak 715 kérdőívet találtam értékelhetőnek. A kérdőívek kiküldése az alábbi régiókba történtek: Közép-magyarországi Regionális Parancsnokság (Budapest), Észak-alföldi Regionális Parancsnokság (Debrecen), Dél-alföldi Regionális Parancsnokság (Szeged), Dél-dunántúli Regionális Parancsnokság (Pécs), Nyugat-dunántúli Regionális Parancsnokság (Szombathely). A régió parancsnokságokról a kérdőíveket a régió parancsnoksága alá tartozó alsóbb fokú szervekhez is eljuttatták.

Az országban 4 helyen van Rendészeti Szakközépiskola helyileg: Miskolc, Nagykovácsi, Szeged, és Körmend. A Körmendi Rendészeti Szakközépiskolában nem engedélyezték a felmérést. A Vám-és Pénzügyőri Iskola Budapesten található.

A Rendészeti Szakközépiskolák az igazságügyi és rendészeti miniszter irányítása alatt álló rendvédelmi szervek állománya utánpótlásának biztosítására létrehozott, két évfolyamos, nappali, levelező és távoktatás tagozatos, szakképző és továbbképző intézmény. A szakközépiskolák feladataikat az egész ország területére kiterjedő illetékességi és működési körben látja el.[3]

A Vám-és Pénzügyőri Iskola Budapesten található, mely a Pénzügyminisztérium irányítása alatt álló, a hivatásos pénzügyőrök kiképzésére és továbbképzésére létrehozott, 1 éves nappali, levelező és távoktatásos szakképző és továbbképző intézmény. A hivatásos állományba felvett személy részére a fegyveres szerv jellegének megfelelő, illetve a beosztása betöltéséhez szükséges tanfolyam elvégzését és vizsga letételét kell előírni, melyek az alábbiak lehetnek:

- előképző tanfolyam (felvételt követően, a lehető legrövidebb időn belül, a próbaidő alatt, 4 hetes időtartamú,)
- előképző tanfolyam (felvételt követően, a lehető legrövidebb időn belül, a próbaidő alatt, 4 hetes időtartamú,)
- középfokú szaktanfolyam (szakosító képzés - az adott szakterületnek megfelelően)
- továbbképzések, átképzések

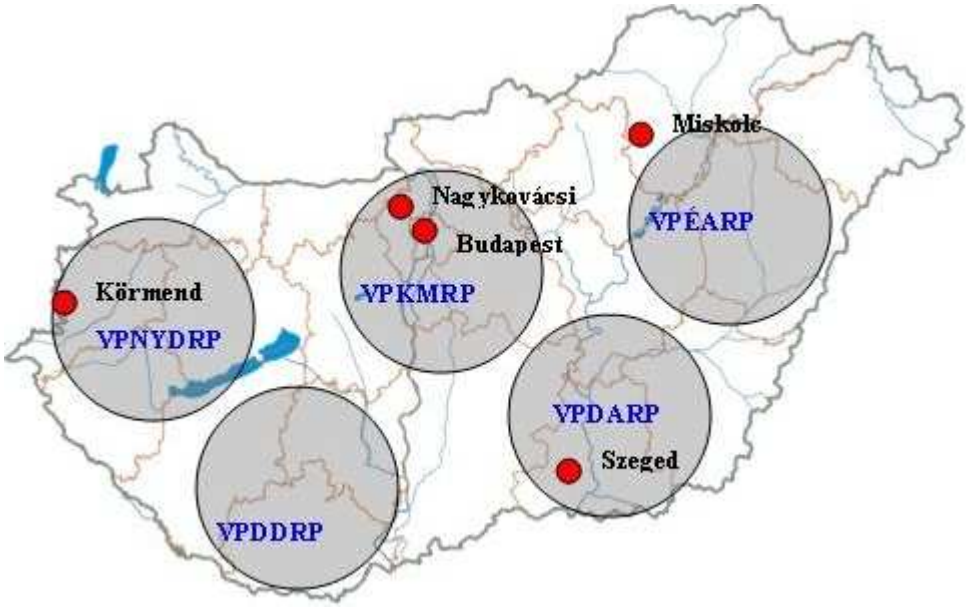
[3]http://www.irm.gov.hu/i/irm.gov.hu/files//downloads/Fooldal/Kozerdeku_Informaciok/Alapitomegszunteto_okiratok/szegedjav.doc

Az előképző tanfolyam célja, hogy a pályakezdő a felvételét követően alapvető ismereteket szerezzen a testületről és elsajátítsa a pénzügyőr alapvető jogait és kötelezettségeit. Elvégzése a testület hivatásos állományába felvettek részére kötelező.

Az alapfokú szaktanfolyam célja olyan pénzügyőrök képzése, akik általános ismeretek birtokában alkalmasak arra, hogy a testület bármely szakterületén - alacsonyabb beosztásokban - szolgálatot teljesítsenek.

A középfokú szaktanfolyam szakosító képzés, az erre beiskolázottak a tanfolyam elvégzését követően képesek magasabb szintű szakmai feladatok ellátására a saját szakterületüknek megfelelően.

A továbbképzések, átképzések célja a testületi tagok szakmai ismereteinek bővítése, megújítása, a folytonos jogszabályváltozásokból eredően a megszerzett tudás felfrissítése. A fenti – nappali tagozatos jelleggel működő (vidéki kollégák esetében bentlakásos) - tanfolyamok költségét a testület finanszírozza, a tanfolyamhallgatók a képzés ideje alatt alapfizetést kapnak. [4]



1.ábra. A felmérésben résztvevő Vám- és Pénzügyőrség regionális Parancsnokságának és a rendészeti Szakközépiskolák földrajzi elhelyezkedése

Rendészeti Szakközépiskolák és a Vám-és Pénzügyőri Iskola település szerinti eloszlása

Vám-és Pénzügyőrség Régiók szerinti eloszlása

VPNYDRP: Nyugat-dunántúli Regionális Parancsnokság,

VPDDRP: Dél-dunántúli Regionális Parancsnokság,

VPDARP: Dél-alföldi Regionális Parancsnokság,

VPÉARP: Észak-alföldi Regionális Parancsnokság,

VPKMRP: Közép-magyarországi Regionális Parancsnokság

[4] http://www.vam.gov.hu/viewBase.do?elementId=10032

A vizsgálati eszköz

1. Munkahelyi stressz; (Hivatásos állomány Cronbach-alpha= 0,8672; Oktatók Cronbach-alpha= 0,8497). Az itemek a munka során jelentkező időzavarra, a megszakításokra, felelősségvállalásra, a túlórákra, zavaró tényezőkre, illetve a növekvő követelményekre, elvárásokra a személy munkahelyi szituációkban megnyilvánuló egyéni jellemzőkre, a munkáért kapott elismerésre, az előrelépési lehetőségre, a biztos munkahely meglétére, a munkahelyen bekövetkező kedvezőtlen változásokra vonatkoznak. (Salavecz és mtsai, 2006)

2. Munkahelyi Motiváció; (Hivatásos állomány Cronbach-alpha= 0,7174; Oktatók Cronbach-alpha= 0,7837) Az itemek a munkavégzés folyamatára illetve a vezetőktől való visszajelzésre irányulnak.

3. Munkahelyi légkör; (Hivatásos állomány Cronbach-alpha= 0,7174; Oktatók Cronbach-alpha= 0,7837) A munkahelyi légkört egy 9 kérdésből álló skála vizsgálta. Az elérhető pontszám 36 volt. A válaszokat egy 1-4 fokú skálán kellett megadni. Az elérhető maximális pontszám 36 volt. Az itemek az adott szervezetre illetve a vezetőkkel való kapcsolatra és az információ csatornáira irányulnak.

4. Munkahelyi elégedettség; A munkahelyi elégedettséget egy 8 kérdésből álló skála vizsgálta. Az elérhető maximális pontszám 34 volt. A itemek arra irányulnak, hogy mennyire elégedett munkájával, munkahelyével illetve mennyire elégedett fizetésével.

5. Szervezeti elkötelezettség és előrejutás lehetősége. (Hivatásos állomány Cronbach-alpha= 0,6490; Oktatók Cronbach-alpha= 0,8109) A szervezeti elkötelezettséget egy 7 kérdésből álló, a karrier lehetőségeket pedig egy 3 kérdésből álló kérdőív vizsgálta ötfokú skálán, ahol az 1= egyáltalán nem igaz, 2= nem igaz, 3= részben igaz, 4= igaz, 5= tökéletesen igaz. Az elérhető maximális pontszám 50 volt. Az itemek a munkahely iránti elkötelezettségről és a munkahelyi karrier lehetőségeiről szól.

A stressz mérésére egy bevált metodikát alkalmaztam, Siegrist erőfeszítés-jutalom egyensúlytalanság kérdőívét. A kérdőív érvényességét már a világ számos országában, különböző nyelveken, szociokulturális közegekben már bizonyították, többek között: Hollandiában, Franciaországban, Japánban.(Kopp, 2006)

A munkahelyi légkör, szervezeti elkötelezettség, munkahelyi motivációból származó feszültségek mérésére 33 kérdést használtam fel a Dienes Erzsébet, Robert A. Roe, Irina L. Zinovieva,, Laurens A. Ten Horn által kidolgozott kérdőívből.(2000) A kérdőív címe: Munkamotivációs kérdőív, melyet egy EU kutatás keretén belül dolgoztak ki. A kérdőívvel három ország Bulgária, Magyarország és Hollandia dolgozóit mérte fel a következő öt dimenzió mentén:

Az első: a helyzeti jellemzőket tartalmazza, amelyeket a motiváció távoli előzményeiként lehet megfogalmazni.

A második: a munka iránti motiváció közeli előzményeit tartalmazza.

A harmadik: az azonosulás és munkahelyi elkötelezettség motivációs változóit.

A negyedik: az erőfeszítést és a megelégedettséget tartalmazza, mint a munka iránti motiváció közeli kimeneteit.

Az ötödik: a teljesítményt, a stresszt és a fluktuációt, mint a motiváció távoli kimeneteit tartalmazza.

Az eredeti kérdőív 283 itemet, míg a rövidített változata 93 itemet tartalmaz. A mérőeszköz eredeti nyelve angol. A szerkesztési fázisban egy többnyelvű kutatócsoport a skálák elemeit kritikai felülvizsgálatnak vetette alá annak érdekében, hogy azok jelentéstanilag egységesek legyenek, illetve módosították, valamint ki is egészítették őket különféle további elemekkel. A következő lépésben az itemeket független nyelvi szakértők bolgárra, magyarra és hollandra fordították, és vissza. (Dienes és mtsai, 2000). Én a 283 itemet tartalmazó kérdőívből, mely 5 nagyobb kérdéskörre tér ki, 33 kérdést használtam fel.

A kérdőív adatainak feldolgozásához SPSS 16.0-ás szoftvert használtam. Számítottam átlagot, szórást. Az összefüggések vizsgálatára kétmintás t-próbát és F-próbát alkalmaztam.

Vizsgálati személyek

Az általam felmért minta (N=715) 603 fő hivatásos, míg 112 fő az oktatói állományban dolgozott. A kérdőívet kitöltők közül 448 fő férfi, és 267 fő nő volt. A nemek arányában a férfiak dominanciája figyelhető meg, ami általában a fegyveres testületek (katonaság, rendőrség) dolgozóira igaz. Az 1. táblázatban bemutatom a vizsgált minta összetételét nem, kor, végzettség és rendfokozat tekintetében.

Amennyiben a mintát életkor szerinti bontásban elemezzük, megállapítható a 32-35 évesek (24,7%) és a 36-39 évesek (16,6%) dominanciája. A 32-39 éves kategóriában van a minta 41,3%-a. A fiatalabb korosztály kisebb arányban képviselteti magát a mintában.

Az iskolai végzettségre vonatkozó kérdés a várakozásomnak megfelelő eredményt hozott. Egy kivételével valamennyi alkalmazott legalább középfokú vagy annál magasabb végzettséggel rendelkezett.

Az általam vizsgált minta rendfokozat megoszlásában elmondható, hogy közel fele tiszthelyettes, 30,5%-a tiszt, 9,7%-a főtiszt és 11,8%-a közalkalmazott. A rendfokozatot az iskolai végzettség és a testületnél eltöltött szolgálati idő valamint a munkahelyi eredményessége alapján nyerhet el a munkavállaló. Lásd 1. táblázat

Az oktatói állomány munkatapasztalatára rákérdezve megállapítható, hogy a megkérdezettek 33,01%-a 1-4 éve dolgozik oktatóként, míg 18,86%-a a válaszadóknak 5-9 éves tapasztalatot mondhat magáénak. Az oktatói állományban is hasonlóan magas arányt képviselnek azok a dolgozók, akik már több mint 10 éve szolgálatban állnak, hiszen e dolgozók aránya 48,1% .Lásd 2. táblázat.

A munkában eltöltött évek számánál megállapítható, hogy a 10 évnél nagyobb munkahelyi tapasztalattal rendelkezik a megkérdezettek közel fele, mely jelzi a munkavállalók lojalitását a Vám- és Pénzügyőrség iránt. Lásd 3. táblázat.

Változó		Hivatásos nem oktató N=603	Oktató N=112	Teljes minta N=715
Nem	férfi	372	76	448
	nő	231	36	267
Életkor	18-22 év	37	0	37
	23-25 év	66	2	68
	26-28 év	74	5	79
	29-31 év	84	12	96
	32-35 év	148	29	177
	36-39 év	92	27	119
	40-43 év	63	20	83
	44 év vagy több senior	39	17	56
Végzettség	szakmunkás	1	0	1
	középiskola	297	13	310
	főiskola, egyetem	303	99	402
	PhD	2	0	2
Rendfokozat	tiszthelyettes	330	12	342
	tiszt	183	35	218
	főtiszt	28	42	70
	közalkalmazott	62	23	85

1. táblázat

Az oktatói és hivatásos nem oktatói állomány megoszlása a nemek, az életkor, végzettség és rendfokozat tükrében

Oktatásban eltöltött idő	Oktatók	
	Fő	%
1-4 év	35	33,01
5-9 év	20	18,86
10-14 év	36	33,96
15-19 év	20	18,86
25-28 év	1	0,94
összes	112	100,00

2. táblázat

A munkában eltöltött idő %-os alakulása az oktatói állománynál

Munkában eltöltött idő	Hivatásos nem oktató	
	Fő	%
1-2 hónap	13	2,15
3-4 hónap	25	4,14
5-6 hónap	21	3,48
7-8 hónap	23	3,81
9-10 hónap	19	3,15
11-12 hónap	21	3,48
1-3 év	117	19,40
4-7 év	29	4,81
8-10 év	62	10,28
11-13 év	106	17,57
14 vagy több év	167	27,69
összes	603	100,00

3. táblázat

A munkában eltöltött idő %-os megoszlása a hivatásos állománynál

Eredmények

Munkahelyi motiváció rész kérdőívem 6 kérdésből álló kérdőív vizsgálta 5 fokú skálán. Az elérhető maximális pontszám 30 volt. A 4. táblázatban bemutatom a változók átlag, és szórásértékeit.

Milyen mértékben hozzák az Ön tudomására a vezetők és a munkatársak, hogy milyen jól végzi Ön a munkáját? Kérdésre adott válasz átlagértéke 2,4629 (szórás=0,94954). A leggyakoribb válasz a 2-es és a 3-as válasz volt. Mindkét vizsgált minta hasonlóan vélekedett vagyis csak kis mértékben vagy mérsékelten kap visszajelzést munkájáról.

Milyen mértékben kap közvetlen visszajelzést a munkájáról magából a munkavégzésből? Kérdésre adott válasz átlagértéke 2,8797 (szórás=0,99414). A válaszadók 41,8 %-a választotta, hogy mérsékelten, 25,9%-a, hogy nagymértékben. Az oktatók magasabb átlagértéke jelzi, hogy ők nagyobb mértékben kapnak visszajelzést a munkavégzésből.

A munkám végzése lehetőséget nyújt arra, hogy rájöjjek, milyen jól dolgozom. Állításra adott válasz átlagértéke 2,9245 (szórás=0,82156). A leggyakoribb válasz a 3-as vagyis a jellemző volt, amit a válaszadók több mint a fele (382 fő) jelölt be. Az oktatók magasabb átlagértéke jelzi, hogy az Ő munkájukra jobban jellemző, hogy rájöjjenek milyen jól dolgoznak.

Munkám során munkatársaimtól és vezetőimtől mindig kapok visszajelzést azzal kapcsolatban, hogy milyen jól végzem azt. Állításra adott válasz átlagértéke 2,5119 (szórás=0,77301).A válaszadók 46,4%-a jelölte be a 2-est, vagyis nem jellemző, hogy visszajelzést kap milyen jól végzi a munkáját. Mindkét vizsgált minta hasonló véleményen volt, vagyis nem kapnak visszajelzést a munkájukról.

Vezetőim gyakran tájékoztatnak arról, hogy szerintük milyen jól végzem a munkámat. Állításra adott válasz átlagértéke 2,3189 (szórás=0,79679). A leggyakoribb válasz a 2-es, vagyis a nem jellemző

volt. A válaszadók több mint fele 52,2%-a szerint nem kap tájékoztatást vezetőjétől, azzal kapcsolatban, milyen jól végzi a munkáját. Mindkét vizsgált minta ezen a véleményen volt.

Munkavégzés után tisztában vagyok azzal, hogy jól végeztem-e el. Állításra adott válasz átlagértéke 3,2671 (szórás=0,74094). A leggyakoribb válasz a 3-as volt, amit a válaszadók 60,3%-a (431 fő) jelölte be. Mindkét vizsgált minta ugyan azon a véleményen volt, vagyis a munka után tisztában van azzal, hogy a munkáját hogyan végezte el.

Kérdés	**összes minta átlag (szórás)**	**hivatásos nem oktató átlag (szórás)**	**Oktató átlag (szórás)**
Milyen mértékben hozzák az Ön tudomására a vezetők és a munkatársak, hogy milyen jól végzi Ön a munkáját?	2,4629 (0,94954)	2,4202 (0,93030)	2, 6875 (1,02255)
Milyen mértékben kap közvetlen visszajelzést a munkájáról magából a munkavégzésből?	2,8797 (0,99414)	2,8242 (0,99280)	3,1786 (0,95119)
A munkám végzése lehetőséget nyújt arra, hogy rájöjjek, milyen jól dolgozom.	2,9245 (0,82156)	2,8773 (0,83419)	3,1786 (0,70025)
Munkám során munkatársaimtól és vezetőimtől mindig kapok visszajelzést azzal kapcsolatban, hogy milyen jól végzem azt.	2,5119 (0,77301)	2, 4925 (0,76977)	2,6161 (0,78552)
Vezetőim gyakran tájékoztatnak arról, hogy szerintük milyen jól végzem a munkámat.	2,3189 (0,79679)	2,3051 (0,79015)	2,3929 (0,83134)
Munkavégzés után tisztában vagyok azzal, hogy jól végeztem-e el.	3,2671 (0,74094)	3,2438 (0,75501)	3,3929 80,64873)

4.táblázat.

A munkahelyi motiváció1-től 5-ös skálán való alakulásának átlag és szórásértékei a hivatásos nem oktatói és az oktatói állomány tükrében.

Munkahelyi légkör rész kérdőívem 9 kérdésből álló kérdőív vizsgálta 4 fokú skálán. Az elérhető maximális pontszám 36 volt. Az 5. táblázatban bemutatom a változók átlag és szórásértékeit.

Hogyan bánnak a vezetők a beosztottakkal? A kérdésre adott válasz átlagértéke=3,2937 (szórás=0,71236). A leggyakoribb válasz mindkét vizsgált minta esetében a 3-as volt, a válaszadók közel fele ezt jelölte be, vagyis udvariasan bánnak a vezetők a beosztottakkal.

Kikéri-e a vezető a beosztottjai véleményét mielőtt döntést hoz? A kérdésre adott válasz átlagértéke= 2, 4392 (szórás=0,74294). A leggyakoribb válasz a 2-es, amit 285 fő, a 3-as amit 321 fő jelölt be. Az oktatói állomány magasabb átlagértéke jelzi, hogy általában kikérik a vezetők a beosztottak véleményét döntések előtt, míg a hivatásos állománynál ez ritkábban fordul elő.

A beosztottak megtartják maguknak amit tudnak, vagy megosztják ismereteiket a vezetéssel?" A kérdésre adott válasz átlagértéke=2,6587, (Szórás=0,83577). A leggyakoribb válasz a 3-as volt amit a teljes minta 55%-a jelölt be. Mindkét vizsgált minta hasonlóan vélekedik, vagyis megosztják ismereteiket a vezetéssel.

Hogyan viselkednek a felettesek a beosztottakkal? A kérdésre adott válasz átlagértéke= 2,9636 (szórás=0,48659). A vizsgált minta 80%-a vagyis 572 fő válaszolta, hogy segítőkészek a vezetők a beosztottakkal. Mindkét vizsgált minta hasonló véleményen van.

A vezetők megtartják maguknak amit tudnak, vagy megosztják ismereteiket a beosztottakkal? A kérdésre adott válasz átlagértéke=2,1175 (szórás=1,00009). A leggyakoribb válasz az 1-es, amit 270 fő, (Csak annyit mondanak, amennyit tudniuk szükséges ahhoz, hogy a munkájukat elvégezzék) és a 3-as, amit 254 fő jelölt be.(Rendszerint közlik amit tudnak) volt. Az oktatók magasabb átlagértéke jelzi, hogy náluk jobban megosztja a vezetőség, az ismereteket, mint a hivatásos állománynál.

Általában a munka megkezdése előtt néhány döntést kell hozni a tervezésről, a munkamódszerről, és hasonlókról. Mekkora befolyása van a beosztottaknak ezeknek a döntéseknek a meghozatalára? A kérdésekre adott válasz átlagértéke=2,1343 (szórás=0,60704). A válaszadók több mint fele 62,7%- a szerint kevés befolyásuk van magára a munka folyamatra. Mindkét vizsgált minta hasonló véleményen volt.

Vannak munkahelyek ahol nagyon fontos a kommunikáció előírt csatornáinak használata. Mennyire súlyos vétség az Ön munkahelyénél, ha nem tartja be a szolgálati utat? A kérdésekre adott válasz átlagértéke =1,8755 (szórás=0,62614). 460 fő jelölte be a 2-es választ vagyis hogy meglehetősen súlyos vétségnek számít. Mind a hivatásos, mind az oktatói állomány hasonló véleményen van.

Milyen a kapcsolat a vezetővel? A kérdésre adott válasz átlagértéke=3,5818 (szórás=0,64383). A leggyakoribb válasz a 4-es volt, vagyis, hogy felengedett, oldott a kapcsolat a vezetővel, amit 469 fő jelölt be, vagyis a teljes minta több mint 65%-a. Mindkét vizsgált minta hasonlóan vélekedett a feltett kérdésről.

Milyen gyakran engedik a vezetők, hogy beosztottjaik befolyásolják döntéseiket? A kérdésre adott válasz átlagértéke=2,5133 (szórás=0,64383). A leggyakoribb válasz a 3-as volt. A válaszadók 70%-a jelölte be a 3-as választ vagyis, hogy néha engedik meg a vezetők, hogy beosztottjaik befolyásolják döntéseiket. Az oktatók és a hivatásos állomány azonos véleményen volt.

Kérdés	összes minta átlag (szórás)	hivatásos nem oktató átlag (szórás)	Oktató átlag (szórás)
Hogyan bánnak a vezetők a beosztottakkal?	3,2937 (0,71236)	3,2919 (0,72523)	3,3036 (0,64150)
Kikéri-e a vezető a beosztottjai véleményét mielőtt döntést hoz?	2,4392 (0,74294)	2,4096 (0,75353)	2,5982 (0,66387)
A beosztottak megtartják maguknak amit tudnak, vagy megosztják ismereteiket a vezetéssel?	2,6587 (0,83577)	2,6434 80,85913)	2,7411 (0,69419)
Hogyan viselkednek a felettesek a beosztottakkal?	2,9636 (0,48659)	2,9519 (0,49517)	3,0268 (0,43413)
A vezetők megtartják maguknak amit tudnak, vagy megosztják ismereteiket a beosztottakkal?	2,1175 (1,00009)	2,0697 (0,98753)	2,3750 (1,03214)
Általában a munka megkezdése előtt néhány döntést kell hozni a tervezésről, a munkamódszerről, és hasonlókról. Mekkora befolyása van a beosztottaknak ezeknek a döntéseknek a meghozatalára?	2,1343 (0,60704)	2,1045 (0,59401)	2,2946 (0,65262)
Vannak munkahelyek ahol nagyon fontos a kommunikáció előírt csatornáinak használata. Mennyire súlyos vétség az Ön munkahelyénél, ha nem tartja be a szolgálati utat?	1,8755 (0,62614)	1,8408 80,61368)	2,0625 (0,66144)
Milyen a kapcsolat a vezetővel?	3,5818 (0,64383)	3,5688 (0,65452)	3,6518 (0,58062)
Milyen gyakran engedik a vezetők, hogy beosztottjaik befolyásolják döntéseiket?	2,5133 (0,85062)	2,4892 (0,87288)	2,6429 (0,70847)

5. táblázat

A szervezeti légkör1-től 4-es skálán való alakulásának átlag és szórásértékei a hivatásos nem oktatói és az oktatói állomány tükrében.

HIPOTÉZIS VIZSGÁLATOK

Első hipotézisem, mely szerint feltételezem, hogy az általam vizsgált 3 csoportnál egyenes arányban fog csökkenni a motiváció a munkában eltöltött évek számával csak részben teljesült. A három célcsoport:

1. Rendészeti szakközépiskolák és a Vám-és Pénzügyőri iskola oktatói.
2. Az 1 évnél hosszabb ideje szolgálatot teljesítők, a Vám és Pénzügyőrség dolgozói.
3. A kevesebb, mint 1 éve a Vám- és Pénzügyőrségnél szolgálatot teljesítők.

Motivációs kérdéseim összesített értékeit összehasonlítva megállapítható, hogy csupán a Rendészeti szakközépiskolák és a Vám-és Pénzügyőri iskola oktatói és a 3-as célcsoport motivációs szintje különbözik ($p=0,001$). Az oktatói állomány, akik már nagyobb munkahelyi tapasztalattal rendelkeznek sokkal inkább motiváltabbak voltak azon hivatásos nem oktató kollégájukkal szemben, akik kevesebb, mint egy éve a Vám- és Pénzügyőrségnél teljesítenek szolgálatot. Így hipotézisünket csak részben tudjuk a kapott eredményeinkkel alátámasztani.

Minta	N	Átlag	Szórás
Rendészeti szakközépiskolák és a Vám-és Pénzügyőri iskola oktatói	112	17,4464	3,53066
A kevesebb, mint 1 éve a Vám- és Pénzügyőrségnél szolgálatot teljesítők	122	16,3934	3,89014
Az 1 évnél hosszabb ideje szolgálatot teljesítők, a Vám és Pénzügyőrség dolgozói	481	16,1060	3,32215
Összesen	715	16,3650	3,48581

6. táblázat

A három vizsgált minta összesített átlag és szórásértékeinek alakulása

Motivációs kérdések összesített adatai a három vizsgált mintára	Motivációs kérdések összesített adatai a három vizsgált mintára	Átlag értékek különbségei	p
Rendészeti szakközépiskolák és a Vám-és Pénzügyőri iskola oktatói;	A kevesebb, mint 1 éve a Vám- és Pénzügyőrségnél szolgálatot teljesítők	1,05299	,053
	Az 1 évnél hosszabb ideje szolgálatot teljesítők, a Vám és Pénzügyőrség dolgozói.	1,34040*	,001
A kevesebb, mint 1 éve a Vám- és Pénzügyőrségnél szolgálatot teljesítők;	Rendészeti szakközépiskolák és a Vám-és Pénzügyőri iskola oktatói	-1,05299	,053
	Az 1 évnél hosszabb ideje szolgálatot teljesítők, a Vám és Pénzügyőrség	,28741	,691
Az 1 évnél hosszabb ideje szolgálatot teljesítők, a Vám és Pénzügyőrség dolgozói.	Rendészeti szakközépiskolák és a Vám-és Pénzügyőri iskola oktatói;	-1,34040*	,001
	A kevesebb, mint 1 éve a Vám- és Pénzügyőrségnél szolgálatot teljesítők	-,28741	,691

7. táblázat

A három vizsgált minta átlag különbségei és összehasonlítása a változók mentén

Második hipotézisemnél, mely szerint feltételezem, hogy a Vám- és Pénzügyőrség személyi állományának dolgozói motiválatlanok, ha úgy érzik, nincs előmeneteli lehetőségük. Mind az oktatói és a hivatásos állomány tagjai esetében összehasonlítottam a motiváció kérdések összesített adatait az előmenetellel kapcsolatos két állítással: Munkahelyemen néhány éven belül előléptetésre számítok és a karrier lehetőségeim kiválóak ennél a szervezetnél. Mind a két célcsoport esetében azt tapasztaltam,

hogy a személyi állomány motiváltabb, ha úgy érzi, hogy van kilátása előmenetelre (p=0,000). Így a hipotézist ez az összefüggés vizsgálat támogatja. Lásd 8. táblázat

		Motivációs kérdések összesített adatai		Munkahelyemen néhány éven belül előléptetésre számítok.		Karrier lehetőségeim kiválóak ennél a cégnél.	
		Hivatásos	**Oktató**	**Hivatásos**	**Oktató**	**Hivatásos**	**Oktató**
Motivációs kérdések összesített adatai	Átlag értékek különbségei	1,000	1,000	0,276	0,373	0,317	0,514
	p			0,000	0,000	0,000	0,000
Munkahelyemen néhány éven belül előléptetésre számítok.	Átlag értékek különbségei	0,276	0,373	1,000	1,000	0,534	0,614
	p	0,000	0,000			0,000	0,000
Karrier lehetőségeim kiválóak ennél a cégnél.	Átlag értékek különbségei	0,317	0,514	0,534	0,614	1,000	1,000
	p	0,000	0,000	0,000	0,000		

8. táblázat

A hivatásos és az oktatói állomány összehasonlítása a motivációs a munkahelyi előmenetel és a karrier lehetőségek tükrében

Harmadik hipotézisem, mely szerint a kevesebb, mint egy éve szolgálatot teljesítő Vám-és Pénzügyőröknél az alacsonyabb stressz szinthez egy nagyobb motivációs szint társul, mint a több éve szolgálatot teljesítő Vám- és Pénzügyőröknél tapasztalunk. A kevesebb, mint egy éve szolgálatot teljesítő Vám- és Pénzügyőrök alacsonyabb stressz szintjéhez egy nagyobb motivációs szint társult, mint a több éve szolgálatot teljesítő pénzügyőröknél tapasztaltunk (p=0,000). A hipotézist ez az összefüggés vizsgálat támogatja.

Utolsó hipotézisem, mely a munkahelyi légkörre vonatkozik, feltételezem, hogy a pozitív munkahelyi légkör a Vám-és Pénzügyőröknél és a Rendészeti szakközépiskolákban dolgozóknál pozitív munkahelyi elégedettséget eredményez. A munkahelyi légkör kérdéseinek összefoglaló értékeit korreláltam a munkahelyi elégedettség egyes kérdéseivel a hivatásos nem oktatói állomány körében. Megállapítható, hogy a 9. táblázatban felsorolt kérdésekben a kapott értékek a hipotézist nem támogatják, nem erősítik meg. Az oktatói állomány esetében hasonló eredményeket kaptunk, mint az előbb említett hivatásos állomány körében.

Kérdések	Hivatásos		Oktató	
	Átlag értékek különbségei	P	Átlag értékek különbségei	P
Milyen jelenlegi munkája azzal összehasonlítva, amilyet Ön szeretne?	0,299	0,000	0,257	0,006
Ha újból választhatna, hogy elfogadja-e jelenlegi állását vagy nem, akkor mit tenne?	0,312	0,000	0,363	0,000
Ajánlaná-e munkáját egy jó barátjának?	0,363	0,000	0,412	0,000
Melyik arckifejezés az, amelyik tükrözi érzéseit, amikor reggel munkába indul?	0,332	0,000	0,291	0,002
Melyik arckifejezés az, amelyik legjobban kifejezi, hogy egészében véve mit gondol a munkájáról?	0,392	0,000	0,327	0,000

9. táblázat

A hivatásos és oktatói állomány összehasonlítása a motiváció és légkör kérdéseinek tükrében

RÉGIÓS ÖSSZEHASONLÍTÁS

Vizsgálatomat a Dél-alföldi regionális Parancsnokság, az Észak-alföldi regionális Parancsnokság, a Közép-magyarországi regionális Parancsnokság, a Dél-dunántúli regionális Parancsnokság és a Nyugat-dunántúli Regionális parancsnokság vámszerveinél végeztem. A 10. táblázatban bemutatom az 5 régióban vizsgált minták összesített átlag és szórás értékeit.

Azt vizsgáltam, hogy az egyes kérdéskörökben van-e regionális különbség, illetve melyek a megnyilvánuló különbségek, melyeket az egyes régió hivatásos Vám-és Pénzügyőrök összeállított egészségfejlesztési tervébe bele kell építeni.

A motiváció szintjében a vizsgálataim alapján szignifikáns különbséget nem tudtam kimutatni ($p > 0,05$). A Vám- és pénzügyőrség hivatásos állományában dolgozó Vám-és Pénzügyőrök motivációja elsősorban nem régiófüggő, hanem a belső indíttatás, a magasabb fizetés, az elismerés befolyásolhatja, melyre az interjú eredményei vélhetően megadják a választ.

Vámszerv	N	Átlag	Szórás
Dél-alföldi Regionális Parancsnokság	92	15, 9674	3, 51277
Észak-alföldi regionális Parancsnokság,	141	15, 9220	3, 28214
Közép-magyarországi regionális Parancsnokság	128	15, 8438	3, 36597
Dél-dunántúli regionális Parancsnokság	97	16, 9175	2, 68355
Nyugat-dunántúli Regionális parancsnokság	79	15, 6456	3, 49005
Összesen	537	16, 0503	3, 29111

10. táblázat

Az egyes vámszervek motivációs kérdéseiben mutatkozó összesített átlag és szórásértékeinek összehasonlítása

Megállapítható, hogy a munkahelyi légkör szintjében eltérés van a régiók között. Az észak-alföldi régióban a légkörrel kapcsolatos kérdések átlagértéke a legalacsonyabb volt (22,3475), míg a Dél-Dunántúli régióban a legmagasabb volt az átlagérték (24,4433). Elmondható, hogy az Észak-alföldi régióban dolgozó hivatásos állomány tagjai kedvezőtlenebb munkahelyi légkörrel élik meg a mindennapi munkájukat, míg a Dél-dunántúlon dolgozók kedvezőbb munkahelyi légkört tapasztalnak (p=0,000). Lásd 11. táblázat. A többi régió légkörrel kapcsolatos kérdései során nem tapasztalható regionális különbség.

Vámszerv	N	Átlag	Szórás
Dél-alföldi Regionális Parancsnokság	92	22, 9348	3, 57588
Észak-alföldi regionális Parancsnokság,	141	22, 3475	3, 48873
Közép-magyarországi regionális Parancsnokság	128	23, 6016	3, 77380
Dél-dunántúli regionális Parancsnokság	97	24, 4433	3, 02410
Nyugat-dunántúli Regionális parancsnokság	79	23, 5823	4, 07182
Összesen	537	23, 3073	3, 64781

11. táblázat

A munkahelyi légkörrel foglalkozó kérdések összesített átlag és szórásértékeinek alakulásának régiós bontása.

ÖSSZEGZÉS

Kérdőíves kutatásom során arra törekedtem, hogy feltárjam a munkahelyi motivációt és a munkahelyi légkört, a Vám-és Pénzügyőrség személyi állományánál, és a Rendészeti Szakközépiskolák és a Vám-és Pénzügyőrség Iskola oktatóinál. Kutatásomba a hivatásos állományt és közalkalmazottakat mértem fel.

Eredményeim alapján csak részben igazolódott be feltevésem, mely szerint az általam vizsgált 3 csoportnál egyenes arányban fog csökkenni a motiváció a munkában eltöltött évek számával. Motivációs kérdéseinek összesített értékeit összehasonlítva megállapítható, hogy csupán a Rendészeti szakközépiskolák, a Vám-és Pénzügyőri iskola oktatóinak és a kevesebb, mint 1 éve a Vám- és Pénzügyőrségnél szolgálatot teljesítők motivációs szintje különbözik (p=0,001). A kapott eredmények csak részben igazolják feltevésünket. A szakemberek szerint a legnagyobb probléma, hogy hosszú távon is komoly költségeket indukálhat a meglévő dolgozók motivációs szintjének csökkenése. A nem motivált dolgozók átlagosan 4 nappal többet hiányoznak munkahelyükről különböző vélt vagy valós indokokra hivatkozva. Szakértői felhívták a figyelmet arra, hogy a motiváció hiánya egyértelműen a vezetői hiányosságokra vezethető vissza. Meglehetősen sok alkalmazott nevezte meg negatív befolyásoló tényezőnek azt is, hogy a vezetőség átgondolatlanul, vagy éppen szakmai hozzáértés hiányában olyan feladatokat is kioszt a munkakörökhöz kapcsolódóan, amelyek egyébként teljesen

más munkakört végző kollegához tartoznának. Végül soha ne feledjük, hogy a jutalmazás -történjen az szóban, írásban, plakáton, vagy bónuszban- még a leggyengébb, de igyekvő láncszemeknek is szárnyakat adhat![5]

A Vám- és Pénzügyőrség személyi állományának dolgozói motiválatlanok, ha úgy érzik, nincs előmeneteli lehetőségük. Mind a két célcsoport esetében azt tapasztaltam, hogy a személyi állomány motiváltabb, ha úgy érzi, hogy van kilátása előmenetelre (p=0,000). Így a hipotézist ez az összefüggés vizsgálat támogatja. Az önbecsülés igénye minden emberben megtalálható. Minthogy a munkamegosztás és szakosodás mai színvonalán az emberek többségének már nem áll módjában, hogy munkájának eredménye közvetlenül kielégítse ezt az igényt, ezért a vezetők elismerése – melynek egyik formája az elsőként említett anyagi juttatás különösen lényegessé vált. Igen fontos motivációs tényezőt jelent az elismerés formái közül a ranglétrán való előrehaladás, az előmeneteli lehetőség. A dolgozók jelentős része különféle negatív következmények – nagyobb felelősség, több tanulás, élesebb bírálat, több gond – ellenére is elfogadna magasabb beosztást. Az előmeneteli lehetőség összetett motivációs tényező: az egyes dolgozókat más és más előnyökkel kecsegteti. Egyeseket csupán a hierarchiában való előrehaladással együtt járó anyagi előnyök csábítanak, másokat a társadalmi státus (presztízs, megbecsülés) emelkedése, ismét másokat a monoton, rutinszerű részmunkáktól való menekülés, az elképzeléseik megvalósítására nyíló nagyobb lehetőségek vagy éppen az irányítgatásból, utasítgatásból fakadó öröm. A legtöbb embernél a magasabb fizetés a legfontosabb, de egyéb tényezők - így elsősorban a nagyobb döntési lehetőségek és a változatosabb munka – is szerepet játszanak. [6]

Harmadik hipotézisem, mely szerint a kevesebb, mint egy éve szolgálatot teljesítő Vám-és Pénzügyőröknél az alacsonyabb stressz szinthez egy nagyobb motivációs szint társul, mint a több éve szolgálatot teljesítő Vám- és Pénzügyőröknél tapasztalunk. A kevesebb, mint egy éve szolgálatot teljesítő Vám- és Pénzügyőrök alacsonyabb stressz szintjéhez egy nagyobb motivációs szint társult, mint a több éve szolgálatot teljesítő pénzügyőröknél tapasztaltunk (p=0,000). Porter és Lawler (1967) az egyéni motiváció kialakulását az elvárás elmélet feltételezései alapján magyarázza. A teljesítmény elérése érdekében az egyén akkor hajlandó erőfeszítésre, ha a feltételezett jutalom vonzó számára, és jövővel kapcsolatos várakozásai beteljesülésének valószínűsége ezt racionálisan indokolttá teszik. A jutalom vonzó volta (valenciája) ugyanakkor nemcsak egyénenként változó, de az életkor előrehaladtával is módosulhat. A fiatalabb munkavállalók általában többre értékelik a pénzbeli elismerést, míg az idősebb dolgozók a biztonságos munkahelyet tartják fontosabbnak. Az erőfeszítés és a teljesítmény kapcsolatának, kötésének erősségét az egyén képességei, és érzékelt szerepe befolyásolják. A stresszre a munkáltatók figyelme is kezd kiterjedni annál is inkább, mivel annak a számlájára írható a hiányzás, a teljesítményromlás és a motiváció hiánya. [7]

[5] http://www.8-ora-munka.hu/munka_allas_hirek/?aid=e2beedd7473200363c6ffb0&cat=22
[6] http://turul.banki.hu/~ricsi/Vezet%E9s%20Szervez%E9s/Motivacio_elmeletek2.doc
[7] http://blog.mfor.hu/egeszsegmustra/982.html A munkahelyi stressz írta: Dr. Ruzsovics Ágnes dátum: 2008. május 18.

Utolsó hipotézisem, mely a munkahelyi légkörre vonatkozik, feltételezem, hogy a pozitív munkahelyi légkör a Vám-és Pénzügyőröknél és a Rendészeti szakközépiskolákban dolgozóknál pozitív munkahelyi elégedettséget eredményez. Ez a hipotézisem nem minden kérdésben teljesült. Természetesen sok összetevője van annak, hogy egy dolgozó hogyan érzi magát a munkahelyén, de sokat ronthat a munka minőségén a rossz munkahelyi hangulat, a széthúzás a kollégák között. Ezeket tovább ronthatja az elismerés és az előmenetel lehetőségének hiánya. Segíti a jó munkavégzést a ma már alapértelmezett munkaköri leírás, amely meghatározza, pontosan körbeírja a dolgozó feladatait, ezzel is csökkentve a bizonytalanságot, növelve a jó munkavégzés és ezáltal az elégedettség érzését. Más kérdés, hogy ezek a leírások megfelelő minőségűek-e, valóban tartalmazzák a szükséges információt, hiszen sok munkahelyen csak az ellenőrzéstől való félelem következtében készülnek el ezen dokumentumok. A megfelelő munkahelyi légkör kialakításában nagy szerepe van a dolgozó céljait ismerő, vele együttműködni akaró, jól képzett vezetőnek.

Melléklet

III. rész
Motiváció

29. Milyen mértékben hozzák az Ön tudomására a vezetők és a munkatársak, hogy milyen jól végzi Ön a munkáját? *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1. Nagyon kis mértékben
2. Kismértékben
3. Mérsékelten
4. Nagymértékben
5. Igen nagymértékben

30. Milyen mértékben kap közvetlen visszajelzést a munkájáról magából a munkavégzésből? (Azaz maga a tényleges munka ad-e jelzéseket arról, hogy milyen jól végzi a munkáját azon kívül, amit a munkatársaktól illetve a közvetlen vezetőktől kap.) *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1. Nagyon kis mértékben
2. Kismértékben
3. Mérsékelten
4. Nagymértékben
5. Igen nagymértékben

Az alábbiakban 3 állítás olvasható, amelyek jellemezhetnek egy munkát. Kérem, próbálja eldönteni, mennyire jellemzőek az Ön munkájára ezek az állítások tekintet nélkül arra, hogy szereti-e a munkáját vagy sem.

31. A munkám végzése lehetőséget nyújt arra, hogy rájöjjek, milyen jól dolgozom. *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1	2	3	4	5
Egyáltalán nem jellemző	Nem jellemző	Jellemző	Nagymértékben jellemző	Teljes mértékben jellemző

32. Munkám során munkatársaimtól és vezetőimtől mindig kapok visszajelzést azzal kapcsolatban, hogy milyen jól végzem azt. *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1	2	3	4	5
Egyáltalán nem jellemző	Nem jellemző	Jellemző	Nagymértékben jellemző	Teljes mértékben jellemző

33. Vezetőim gyakran tájékoztatnak arról, hogy szerintük milyen jól végzem a munkámat. *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1	2	3	4	5
Egyáltalán nem jellemző	Nem jellemző	Jellemző	Nagymértékben jellemző	Teljes mértékben jellemző

34. Munkavégzés után tisztában vagyok azzal, hogy jól végeztem-e el. *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1	2	3	4	5
Egyáltalán nem jellemző	Nem jellemző	Jellemző	Nagymértékben jellemző	Teljes mértékben jellemző

IV. rész
Munkahelyi légkör

A következő kérdések arra vonatkoznak, hogy mi jellemzi azt a szervezetet, ahol Ön dolgozik?
35. Hogyan bánnak a vezetők a beosztottakkal? *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1	2	3	4
Ellenségesen	Nyersen, durván	Udvariasan	Barátságosan

36. Kikéri-e a vezető a beosztottjai véleményét mielőtt döntést hoz? *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1	2	3	4
Soha	Ritkán	Általában	Mindig

37. A beosztottak megtartják maguknak amit tudnak, vagy megosztják ismereteiket a vezetéssel? *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1. Megtartják, hacsak a szabályzat/munkarend úgy nem rendelkezik, hogy arról tájékoztatni kell a vezetést.
2. Jobban szeretik maguknál tartani ismereteiket, de a kérdésekre válaszolnak, még akkor is, ha ez a szabályzat/munkarend szerint nem szükséges.
3. Rendszerint van bennük késztetés arra, hogy elmondják a vezetésnek amit tudnak, és kérdésekre is válaszolnak.
4. A beosztottak mindig készek arra, hogy elmondják a vezetésnek amit tudnak, még akkor is, ha nem kérdezik őket.

38. Hogyan viselkednek a felettesek a beosztottakkal? *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1	2	3	4
Nagyon sértőn	Sértőn	Segítőkészen	Nagyon segítőkészen

39. A vezetők megtartják maguknak amit tudnak, vagy megosztják ismereteiket a beosztottakkal? *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1. Csak annyit mondanak, amennyit tudniuk szükséges ahhoz, hogy a munkájukat elvégezzék.
2. Rendszerint megtartják maguknak azt, amit tudnak, de ha megkérdezik őket, akkor hajlandóak a kérdésekre válaszolni.
3. Rendszerint közlik amit tudnak.
4. Mindig készek arra, hogy közöljék, amit tudnak és ők teszik a kezdeményező lépéseket.

40. Általában a munka megkezdése előtt néhány döntést kell hozni a tervezésről, a munkamódszerről, és hasonlókról. Mekkora befolyása van a beosztottaknak ezeknek a döntéseknek a meghozatalára? *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1	2	3	4
Szinte semmi	Kevés	Meglehetősen sok	Nagyon sok

41. Vannak munkahelyek ahol nagyon fontos a kommunikáció előírt csatornáinak használata. Mennyire súlyos vétség az Ön munkahelyénél, ha nem tartja be a szolgálati utat? *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1	2	3	4
Nagyon súlyos	Meglehetősen súlyos	Nem számít	Egyáltalán nem Számít

42. Milyen a kapcsolat a vezetővel? *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1	2	3	4
Nagyon feszült	Feszült	Kissé feszült	Felengedett, oldott

43. Milyen gyakran engedik a vezetők, hogy beosztottjaik befolyásolják döntéseiket? *(Karikázza be a megfelelő számot!)*

1	2	3	4
Soha	Gyakran	Néha	Szinte mindig megengedik

IRODALOMJEGYZÉK:

1. AMBROSE, M. L., & KULIK, C. T. (1999). Old friends, new faces: motivation research in the 1990s. Journal of Management, 25(3), 231–292.
2. CAMPBELL, J. P., DUNNETTE, M. D., LAWLER, E. E. I. és WEICK, K. E. (1970): Managerial behavior, performance and effectiveness. McGraw Hill., New York. In: Esther Yassur (2001): A szervezeti légkör és az iskola vezetési stílusának összefüggései. Magyar Pedagógia 101. évf. 2. szám 171.190.
3. FOREHAND, G, & Von Gilmer, B. (1964): Environmental variations in studies of organisational behaviour. Psychological Bulletin, 62, 362-381.
4. HERZBERG, F., MAUNSER, B., SNYDERMAN, B., 1959. The Motivation to Work. Wiley, New York.
5. HERZBERG, F. (1971). Work and the nature of man. New York: World Publishing.
6. HERZBERG, F., MUSNER, B., & SNYDERMAN, Bloch. (2005). The motivation to work. New Jersey: Transaction Publishers.
7. HÍDVÉGI, P.- MÜLLER, A. (2009):Munkahelyi elégedettség a Vám-és Pénzügyőrség személyi állományának és a Rendészeti szakközépiskolák oktatóinak empírikus vizsgálata alapján. In: Repüléstudományi Közlemények. On-line tudományos folyóirat. 4. szám
8. KOPP, M. NECULAI, K. SALAVECZ, Gy. RÓZSA, S. (2006): Az erőfeszítés jutalom egyensúlytalanság kérdőív magyar változatának megbízhatósága és érvényessége. Mentálhigiéné és Pszichoszomatika 7 (2006) 3, 231.246
9. LAWLER, E. E. and PORTER, L. W. (1967): The effect of Performance on Job Satisfaction. In: Industrial Relations, 1967/7., pp. 20-28. – Hivatkozza: Gyökér Irén (2001): Humánerőforrás-menedzsment. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. pp.66-70..
10. LITWIN, G. H. és STRINGER, R. H. (1968): Motivational and organizational climate. Division of Research, Graduate School of Business Administration. Harvard University, Boston. In: Esther Yassur (2001): A szervezeti légkör és az iskola vezetési stílusának összefüggései. Magyar Pedagógia 101. évf. 2. szám 171.190.
11. McCLELLAND, D. C. (1985). Human Motivation. Glenview, IL: Scott Foresman & Co.
12. PINDER, C. C. (1998). Work motivation in organizational behaviour. USA: Prentice Hall.
13. ROBERT, A. R., IRINA L. Z.,DIENES, E.,LAURENS, A. T.T. (2000): A comparison of work motivation in Bulgaria, Hungary, and the Netherlands: Test of a Model. Applied Psychology: an international review, 49 (4), 658-687
14. RÓKUSFALVY, 1971. In: Klein Sándor: Vezetés- és Szervezetpszichológia, 298.old. SHL Hungary KFT, 2001
15. SALAVECZ, Gy., NECULAI, K., JAKAB, E.(2006): A munkahelyi stressz és az énhatékonyság szerepe a pedagógusok mentális egészségének alakulásában. Mentálhigiéné és Pszichoszomatika 7 (2006) 2, 95. 109
16. TIETJEN, M. A., & MYERS, R. M. (1998). Motivation and job satisfaction. Management Decision, 36(4), 226–231.

A cikk lektorálása folyamatban, lektorálás után kerül feltöltésre.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Istvan R. Jankovics[1] - Laszlo Hatfaludy[2] - Daniel Rohacs[3] - Jozsef Rohacs[4]

SOME COMMENTS ON THE AIRCRAFT ACCIDENT STATISTICS

ABSTRACT

This paper investigates flight safety with the use of the flight accident data of the NTBS (US statistics), ICAO, EU and other national sources. The unconventional representation of the statistical data results in an original figure, which needs further analysis and explanations. This paper tries to make a short preliminary discussion, and comments on the resulting figures. It also deals with the results the following projects: (i) Safefly (development and application of innovations in the production of the prototype of a new 4-seats composite aircraft), (ii) development of a 2 seats acrobatic training aircraft supported by the Hungarian National Development Agency and (iii) the EU supported FP 7 project, PPLANE (Personal plane) in which the authors are involved.

Keywords: flight safety, accident statistics, small aircraft

INTRODUCTION

Safety is the condition of being safe; freedom from danger, risk, or injury. From the technical point of view, the safety is set of methods, rules, technologies applied to avoid the emergency situation caused by unwanted system uncertainties, errors or failures appearing randomly.

Flight safety can be evaluated by the accident statistics. The source of the accident data are based on the records of the NTBS (US statistics), ICAO, EU and other national databanks. Accident data can be used in many different forms. One original approach lies in the idea of developing unconventional figures.

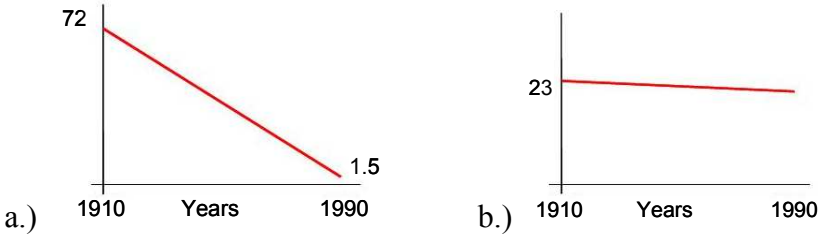


Figure 1. Number of people killed in car accidents for
a. each million miles, b. - for 10 000 driver licence

The main idea comes from the original presentation of the road fatal accident data by Caesar Marchetti, a well-known researcher of the Institute of Applied System Analysis [1]. Earlier, changes in road safety were analyzed and predicted by the application of the Figure 1.a (created by one of the pioneers of the technology forecast Ralp Lenz). This Figure shows that the number of people killed in US automobile accidents for each million miles reduced drastically during the period 1910 -1990. On the other hand, the innovative Figure 1.b, introduced by Marchetti, demonstrates an interesting fact: the number of people killed in car accidents for 10 000 driver license was nearly the constant for the same period.

[1] Rea-Tech Ltd., ijankovics@rea-tech.eu
[2] Wizz Air, lhatfaludy@hotmail.com
[3] Faculty of Transportation Engineering, BME, drohacs@rea-tech.eu
[4] Faculty of Transportation Engineering, BME, jrohacs@rht.bme.hu

The Figure 1.b. demonstrates that all the innovative solutions, applying new safety technologies, has an effect a short time. For example after the deployment of the ABS, drivers learned in a short time that they can keep a smaller break distance.

This paper deals with the analysis of the flight accident data, based on the approach of using using some new, original Figures.

The paper also introduces the results of the investigations performed by the authors in the following projects: (i) Safefly (Development and application of innovations in the production of the prototype of a new 4-seats composite aircraft), (ii) development of a 2 seats acrobatic training aircraft supported by the Hungarian National Development Agency and (iii) the EU supported FP 7 project, PPLANE (Personal plane). The Figures (in form of slides) were presented on the Tel-Aviv Meeting (January, 2010) of the PPLANE project and Safety and Security Sub-group meeting (in Paris, February, 2010) of the EU supported AGAPE (ACARE Goals Progress Evaluation).

1. PRELIMINARY INFORMATION

Flight safety is analyzed by many scientist by the use of statistical data in time-variant forms (like it is shown in Figure 1.a). Some others try to use more general approaches and make some general conclusions. For example, NASA initiating the zero accident project [2, 3, 4] leads to general conclusions: the risk of flight was decreased by a factor of 1:10 before introducing the wide-body aircraft, but which can not be further reduced with the present technical, technological methods [2, 5]. However, the number of aircraft and the number of yearly, daily flights are increasing continuously (Fig. 2.); therefore the absolute number of accident is expected to increase, which might even lead to the vision made by Boeing, in which by 2016/17, each week one large-body aircraft will have an accident. "Given the very visible, damaging, and tragic effects of even a single major accident, this number of accidents would clearly have an unacceptable impact upon the public's confidence in the aviation system and impede the anticipated growth of the commercial air-travel market" [2] .So, new methods like emergency management must be developed and applied for keeping the absolute number of accident on the present level.

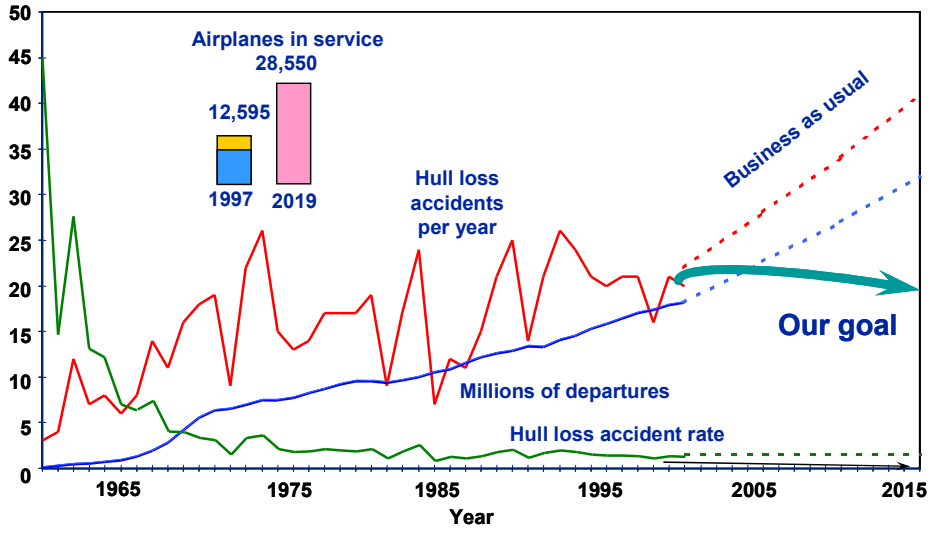


Fig.1.: The NASA zero accident project [3]

The aircraft accident statistics make clear the well-known facts [6, 7, 8]: the longest part of the flight (with about 50 - 80 % of flight time) is the cruise phase, which only accounts for 5 - 8 % of the total accidents and 6 - 10 % of the total fatal accidents (Fig. 3.) The most dangerous phases of flight are the take-off and landing.

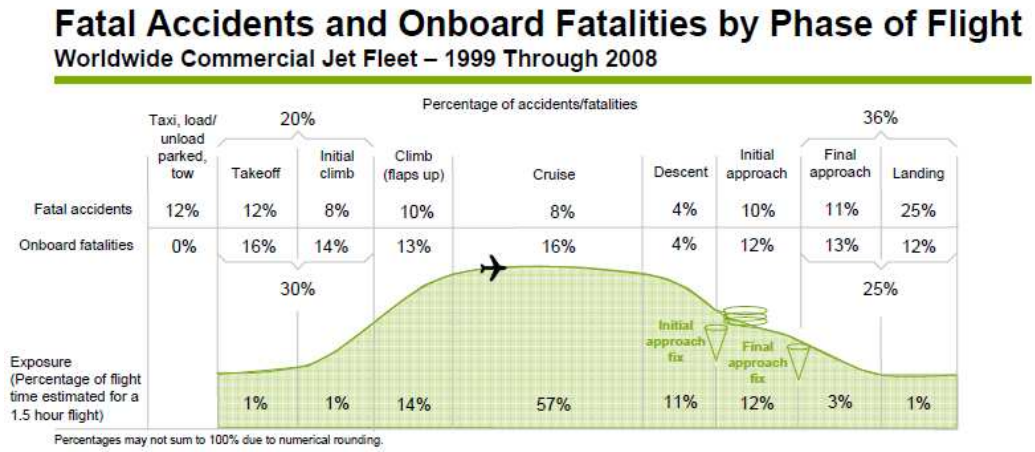


Fig. 3. Percentage of flight accidents related to the different flight phases [7]

This fact results to an interesting and important conclusion: the different air transportation modes (e.g. commercial, general aviation) should have approximately the same flight risk; or at least the same accident rate for the number of flights.

On the other hand, the investigation of the accident causes (Fig. 4.) demonstrates that about 70 - 80 percent of the accidents are caused by human factor and nearly 50 % of them are initiated by the pilots.

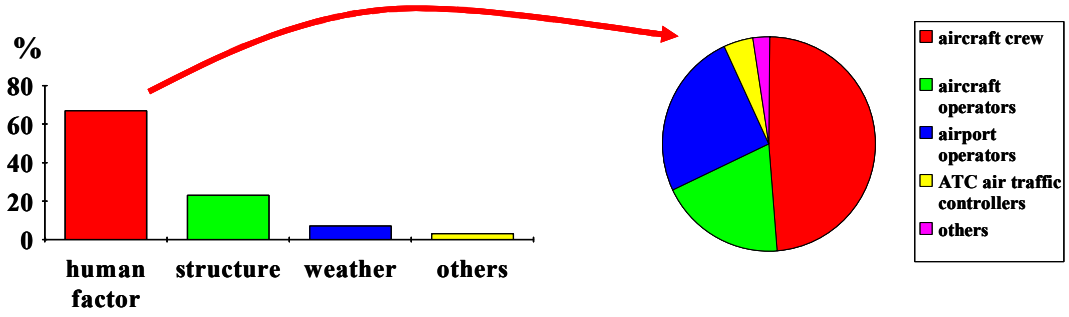


Fig. 4. Causes of flight accidents

More generally speaking, the investigation of the accident statistics shows that [8, 9, 10]

- aircraft accidents are generated by the complex effects of structure features, peculiarities of the pilot, air traffic and the surroundings;
- as usually the accidents are induced by 3 - 6 different failures or errors;
- the probabilities of the second, third and the following errors are depending on the previous errors and might even be 30 - 80 times higher;
- the special distribution at the left or right hand side of the empirical density functions related to the system characteristics plays a deterministic roles in the accidents;

- the inaccurate calculation and modelling of the common failures (principally independent failures or errors appearing at the same time) might result in the under evaluation of the risks.

Another interesting conclusion: the human factor is a most important contributing factor to flight accidents. Therefore, the flight risk of small and personal air transport must be nearly the same as the risk of the commercial flights. The difference might be caused by less training, or less practice.

Finally and another interesting figure published by the EASA (Fig. 5.): in Europe, the fatal accident rate, as fatalities per 10 million flights, has increased since 2003, but reason of this fact has not explained yet.

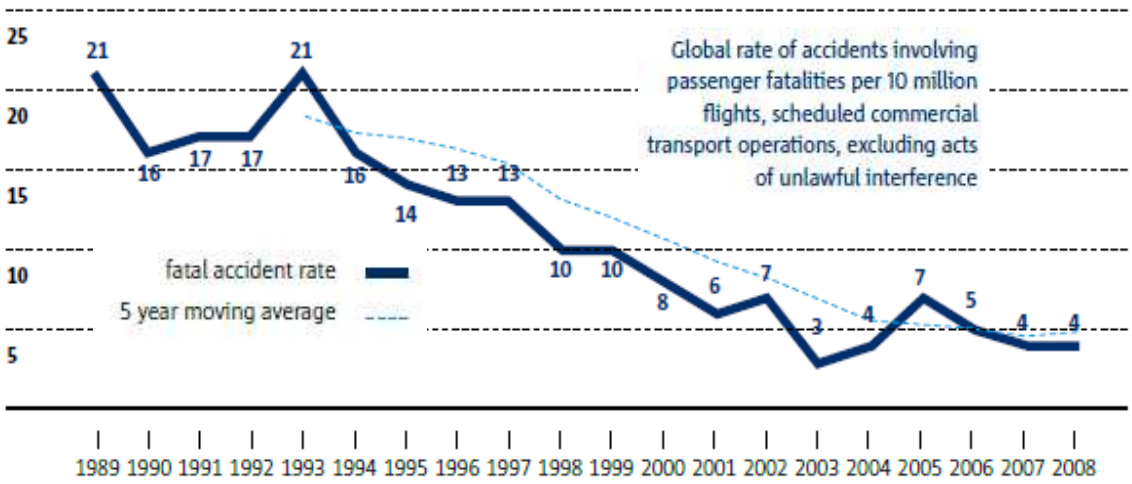


Fig. 5. Characterisation of the European accident statistics [11]

2. GENERAL AVIATION - PART OF CIVIL AVIATION

Several European and national projects deal with the development of the general and personal air transportation system. Nowadays, the technology is ready to develop new economic [12] and environmental friendly aircraft that will be used by less-skilled pilots renting or owning the aircraft [13, 14]. The EU EPATS (European personal air transportation system) project [15] predicts that in 2020 about 50 million flights pro year will be performed by small aircraft. Such rapid development needs about 150 000 - 180 000 new small aircraft in Europe [15]. Therefore, a new safety philosophy [14] must be created for the small aircraft operation. The new personal transportation system needs changes in all the existing general aviation system, including development of new net of small airports [14] and air transport management system [16].

The European commission has recognized the important future of the new small aircraft transportation system and call up the attention on its required development [17].

Nowadays, general aviation (GA) is a large part of civil aviation. In 2005, for example, 215 837 aircraft, about 91 % of US operated civil aircraft belonged to the GA [18]. 211 940 GA aircraft were, so called, active as it shown in Figure 6.

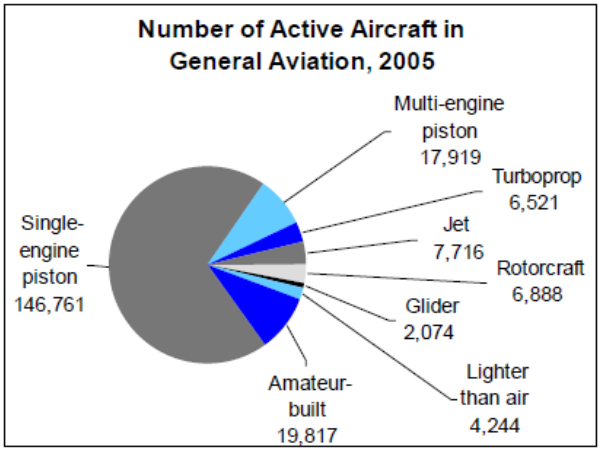


Fig. 6. Distribution of US GA per aircraft type [16]

With accordance to the statistical data related to the year 2001 [19]:

- more than 18 000 landing facilities nationwide served US GA including heliports, lakes, dirt landing strips in remote areas as well as general airports near urban regions and even large airports used by commercial air carriers,
- GA used from one-person "ultralights" and powered parachutes with extremely limited range and payload capabilities to helicopters, seaplanes, antiques, fabric-and-wood biplanes, "homebuilt" experimental airplanes, the ubiquitous four-seat single-engine airplane, twin turboprops, and large and small business jets,
- the aircraft were operated by 600 000 certified pilots and served 77 % of all air traffic with transporting approximately 180 million passengers, in different aircraft sizes, for business and personal reasons,
- US GA accounted for over 637,000 jobs, with nearly $20 billion in annual earns and its direct and indirect economic impact is exceeded to be $102 billion, in different aircraft sizes, for business and personal reasons,
- as it was estimated, 65% of all general aviation flights were conducted for business and corporate travel,
- commercial, non-scheduled flights (charters) as a component of GA, with more than 22,000 pilots flew some 14,700 aircraft for this industry segment.

The aircraft are operated by GA and airlines with using different practices that result to different accident rates [20].

The GA has about 10 - 35 times greater accident rate (accident per 100 000 flight hours) than the commercial flights (Fig. 7.). However the fatal accident rate of GA is only about 2,5 - 3 times greater than the same rate for the commercial carriers.

The GA accident rates are very depend on the type of operation (Fig. 8.). The corporate and executive aircraft operating by professional pilots are involved into the accidents not more often than the airlines aircraft (Fig. 8.).

Leading causes of pilot-related fatal accidents in 2006 [21] were:

- maneuvering: 25.0 %
- descent/approach: 19.0 %,

- weather: 14.8 % and
- takeoff/climb: 14.4 % from the GA total accidents.

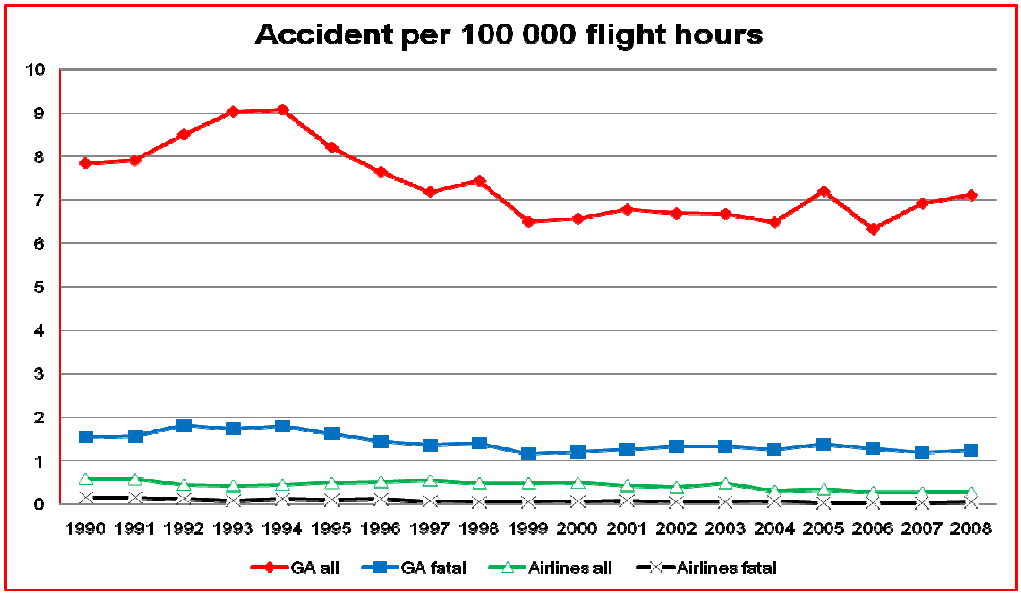


Fig. 7. Comparison of GA and airlines accident and fatal accident rates [19]

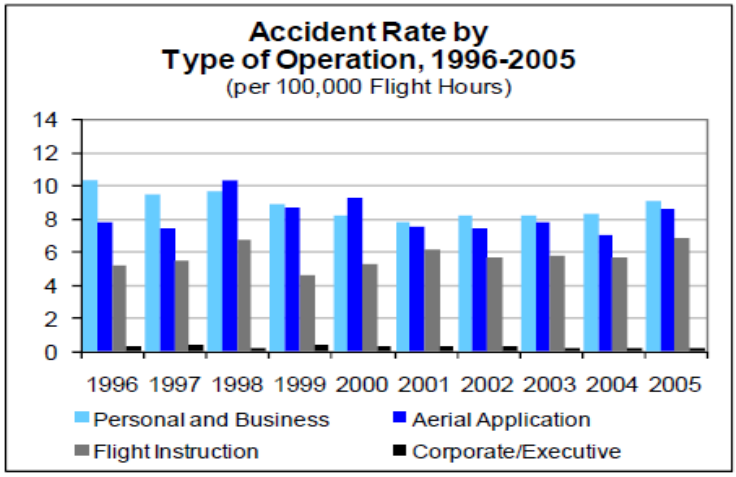


Fig. 8. US GA accident rates [18]

According to the AOPA (Aircraft Owners and Pilot Association) Air Safety Foundation statistics (Table 1.) [21], in 2006, the GA business flights served more than 15 % of the total GA flight hours, but caused only 2.8. % of the total accident and 5.5. % of the total fatal accidents. The higher ration in the fatal accidents can be explained by the use of larger and faster aircraft operated by business GA. The accident ratio of executive/corporate flights is similar to the business flights.

Data of Table 1. shows that *more than 70 % of GA accidents and fatal accidents are caused by personal pilots, while they flew less then 50 % of total flight time.*

These results are expected by people and experts, because GA aircraft are operated by licensed but so called less-skilled pilots in uncontrolled areas and at the small airports having limited services.

On another hand, if the human factor is the most important factor causing the accident, then the difference between the GA and commercial aviation should be high. Therefore, the GA accident statistics needs further investigations using the original point of view.

Table 1. GA accident statistics depending on the types of operation.

Type of Operation	Percent of Flying (2006)	Percent of Total Accidents (2006)	Percent of Fatal Accidents (2006)
Personal	48.2	71.5	71.8
Instructional	20.1	13.3	7.7
Aerial Application	4.6	4.3	3.3
Business	15.1	2.8	5.5
Positioning	*	1.7	2.2
Ferry	*	0.5	0.7
Other Work use	0.8	0.8	1.8
Aerial Observation	3.0	0.6	1.1
Executive/Corporate	4.0	0.7	0.4
Other/Unknown	4.2	3.8	5.5

3. SPECIAL INVESTIGATION ON GA ACCIDENT STATISTICS

The pilot skills can be divided into two different classes. Hard skills means that the pilot know all the regulations, rules, technologies required for safe operation, have enough information about theory of flight, performance and system characteristics of used aircraft, operational conditions including the airport, weather, etc. limitations, rules and technologies of using the airspace and can fly (define the flight plan, use flight the procedures, control the aircraft work with communication and information systems) safely. On the other hand, human personal characteristics define the soft skills, which means that the pilots know everything required to have hard skills (that are evaluated during flight tests - examination for licensing), but due to their actual psychophysical and mental conditions, their own habits, they are not flying are it would be required. They do it because they have limited practice, limited knowledge about the risks and emergency situations, believe in their ability more, than it would be reasonable.

Less-skilled pilots are pilots having right licenses, but less practice or less information about the flight conditions flight situations, making false decisions, over evaluating their own ability or they are simple negligent.

The Figure 9. demonstrates the very complex role of soft skills. For example, it might surprise experts, but *in each tenth GA accidents are caused by pilots having a total flight time of more than 10 000 hours.* According to the investigations of the NTSB [18] from the 1626 accident pilots whom total flight experience data are available, 48% were pilots with a total flight time of 1,000 hours or less [18]. Even more interesting, the *pilots having less than 200 flight hours are took part in 17 % of the accidents. It is a logical fact, 88 % of these accidents were happened with a single piston engine aircraft.*

Using the approach described in the introduction (see Fig. 1.) to investigate accident statistics, another surprising result appears (Fig. 10.).

The commercial pilots are 3 times less involved in the accidents and fatal accidents than the GA pilots. While the accidents per 1000 pilots are decreasing, the fatal accident per 1000 pilots scattering around the nearly constant values.

The detailed investigation of the curves of the Figure 10. resulted to two interesting hypotheses:

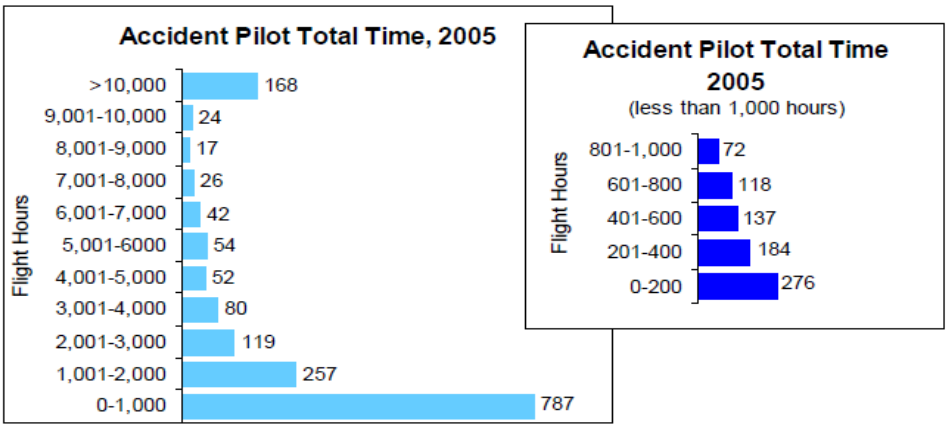


Fig. 9. The distribution of experience among accident pilots

- the fatal accidents per 1000 pilots partly characterizing the role of pilots (because the human factors) in the fatal accidents are nearly the same for GA and airlines with taking into account that the airlines' aircraft are piloted by crew including at least two pilots, while the GA aircraft are controlled as usually by one pilot, and the airlines' pilots supported by different services e.g. line up operation, air traffic control.

- the number of fatal accidents per 1000 pilots - as a function of calendar time - is slowly decreasing because the human intelligence is generally slowly, but increasing, which has a positive influence on the human situation awareness and reaction time.

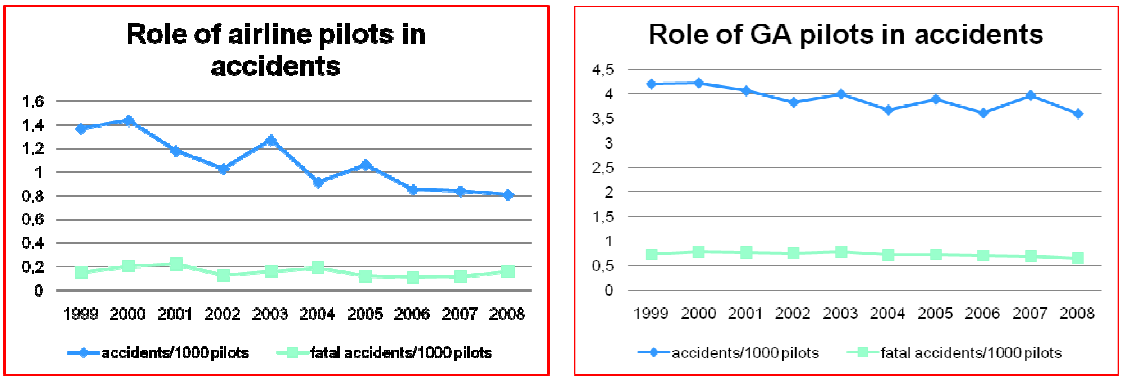


Fig. 10. Accidents and fatal accidents for 1000 cetified pilots

The Figure 11 shows that *the private pilots take part only two times more accidents than the airlines' pilots, while the GA commercial pilots are involved into the accidents nearly four times more often. With accordance to the accidents per 1000 active pilots indicator, the safest flights are made by student pilots.*

The indicators accidents and fatal accidents per 1000 active certified pilots are not the best and only the indicators characterising the flight risks. However, they call our attention on the so called non-technical aspects of safety. *Society accepts that each year about 2 professional pilots and 5 - 7 non-professional (private and pleasure) pilots will take part in aircraft fatal accidents.*

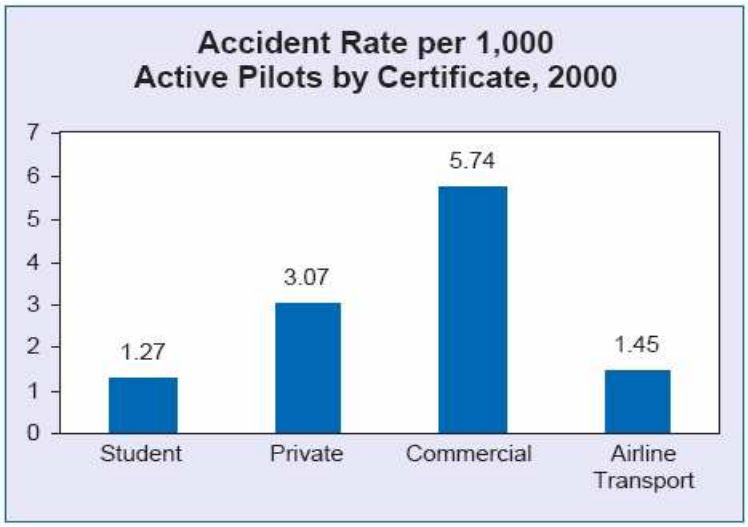


Fig.11 Accidents per different classes of pilots [22]

Principally, the best solution would be that on-board of each aircraft an instructor will be set. This seems as a joke, but it can be made with the development of virtual co-pilots [23], a care-free control system which can always work together with the pilots. Such close to the intelligent system might be based on the horse driving analogy called as H-metaphor [24].

The providing philosophy is described by Moore [22]: "the sentience of a horse in that it is an intelligent vehicle that “sees” the environment, shares its intent with neighboring vehicles, “feels” the flow over its wings, senses its internal health, and communicates with its user. Instead of a user being required to instruct the horse along a specific path, the user is able to provide the ‘intent’ while performing higher level tasks that the horse could never perform effectively. From these perceptions, the sentient vehicle develops an integrated awareness of its situation and autonomously plans and executes a course of action that appropriately satisfies the user’s directives. The resulting vehicle’s capabilities will enable at least automobile levels of safety and convenience, while providing a balance between user control and security."

The H-methafor may go back to far. Safety philosophy of personal aircraft can be based on a simple idea: the aircraft control should be made on the level of difficulty related to driving a car. Such supporting system might include the following features: voice check-list, automatic situation awareness, flight path prediction, avoiding the departure to critical flights, automatic recovery or even switch to full automatic or distance control.

The new solutions are required for the developing the new business personal air transportation system [14, 15, 25].

There is an another hypothesis: air transportation system (including training, regulations, research and developing, production, infrastructure, monitoring and control - ATM, maintenance, services, etc.) has developed, organized and managed by taking into account the risk level accepted by the society (mentioned above).

This hypothesis can be confirmed by the curves of the Figure 12. According to the US accident data and fatal accident ratio, GA and airlines aircraft are approximately the same. That means that the design rules and final structural decision for small and large aircraft are the same.

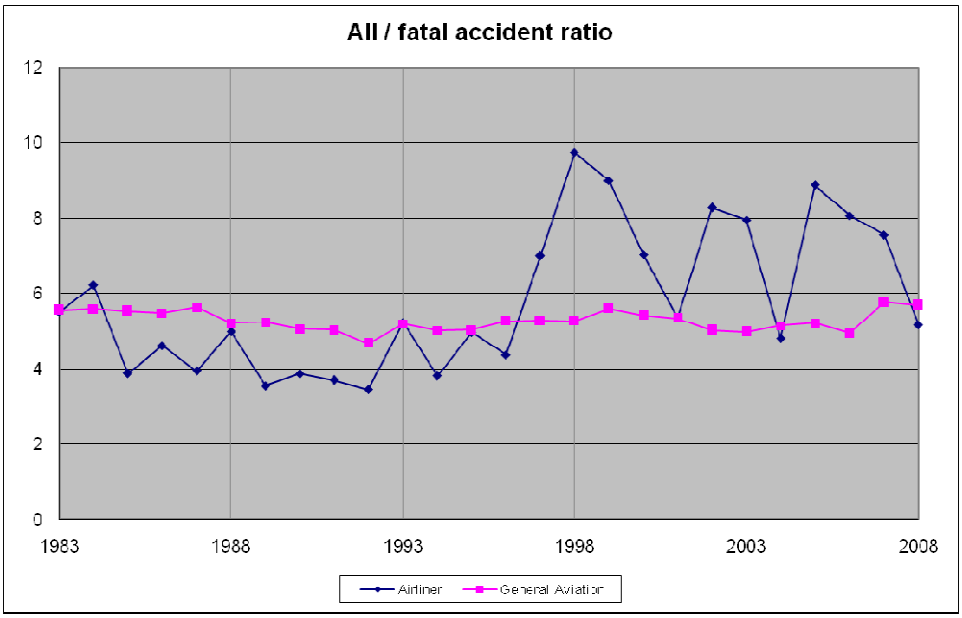


Fig. 12. An original way to compare airliner and GA accident statistics

CONCLUSIONS

The statistics as the statistics of the aircraft accident data, too, can be used in different ways depending on the goal of investigators. This paper introduced and discussed preliminary some original figures representing the aircraft accident data. The goal of investigation is make some conclusions for developing the safety philosophy of the small aircraft "driving" by less-skilled personal pilots.

The main results showed that the general aviation risk depending on the used indicator is much more greater then airlines risk (in case of accident rate per 100 000 flight hours) or nearly the same (in case of applying the indicator fatal accident per 1000 active pilots).

Another interesting result, the accident / fatal accident ration nearly the same for GA and airlines. So the GA and airline operation systems are developed on the same level.

The results described above are the first preliminary results of study that need further investigation and explanation.

REFERENCES

[1] Vanston, J. H.: Better forecasts, better plans, bettern results, Research Technology Management, January-february, 2003, pp. 47 – 59, http://www.tfi.com/pubs/w/pdf/better_forecasts.pdf

[2] Shin, J.: The NASA Aviation Safety Program: Overview, Nasa, 2000, NASA/TM—2000-209810, http://gltrs.grc.nasa.gov/reports/2000/TM-2000-209810.pdf

[3] Commercial Aviation Safety Team (CAST), Process Overview, http://www.icao.int/fsix/cast/CAST%20Process%20Overview%209-29-03.ppt

[4] White, J.: Aviation safety program, NASA, http://www.docstoc.com/docs/798142/NASA-s-Aviation-Safety-Program

[5] Rohács, J.: Revolution in Safety Sciences -- Application of the Micro Devices „Progress in Safety Sciences and Technology" (Edited by Zeng Quingxuan, Wang Liqiong, Xie Xianping, Qian Xinming) Science Press Beijing / New York, 1998, pp. 969 – 973.
[6] Repülési lexikon (Aeronautical encyclopedia) (Edyted by Csanádi, N., Kiss, T., Pásztor, E., Rohács, J. chief editor: Szabó, J.) I., II. kötet, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991.
[7] Statistical summary of commercial jet airplane accidents worldwide operations 1959 - 2008, Boeing, http://www.boeing.com/news/techissues/pdf/statsum.pdf
[8] Rohács, J.: Repülések biztonsága (Safety of Flights) Bólyai János Műszaki Katonai Főiskola (Military Technology High Shool named János Bólyai), Budapest, 1995.
[9] Rohács, J., Németh, M.: Effects of Aircraft Anomalies on Flight Safety „Aviation Safety (Editor: Hans M. Soekkha) VSP, Ultrecht, The Netherland, Tokyo, Japan, 1997, pp. 203 – 211.
[10] Rohacs, J.: Risk Analysis of Systems with System Anomalies and Common Failures „Progress in Safety Sciences and Technology" Vol. II. Part. A. (edited by Li Shengcai, Jing Guoxun, Qian Xinming), Chemical Industry Press, Beijing, 2000, 550 – 560.
[11] EASA Annual safety review 2008, http://www.easa.eu.int/essi/documents/AnnualSafetyReview2008_en.pdf
[12] Rohacs, D.: *Non-Linear Prediction Model for the European Small Aircraft Accessibility for 2020*. PhD Thesis, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2007.
[13] Holmes, B.J., Durhan, M.H., Tarry, S.E.: "Small Aircraft Transportation System Concept and Technologies". *Journal of Aircraft*, Vol. 41, No.1, January-February 2004.
[14] Rohacs, J.: PATS, personal Air Transportation System, ICAS Congress, Toronto, Canada, CD-ROM, 2002, ICAS. 2002.7.7.4.1 -7. 7.4.11.
[15] EPATS European Personal Air Transportation Projects, EU FP6 project, http://www.epats.eu/
[16] Commission of the European Communities: "An Agenda for Sustainable Future in General and Business Aviation". Commission of the European Communities, Communication from the Commission, COM(2007) 869 final, Brussels, Belgium, January 2007
[17] Rohacs, D., Brochard, M., Lavallee, I. and Gausz, T.: "Preliminary Analysis of Small Aircraft Traffic Characteristics and its Interaction on ATM for European Market Attributes". In *Proceedings of the 4th Innovative Research Workshop and Exhibition*, EUROCONTROL Experimental Centre, Bretigny sur Orge, France, December 2005.
[18] Annual review of aircraft accident data, U.S. general aviation, calendar year 2005, Natoinal Transportation Safety Board, NTBS/ARG-09/01. http://www.docstoc.com/docs/9058675/Annual-Review-of-Aircraft-Accident-Data-US-General-Aviation
[19] Report of the Aviation Security Advisory Committee Working Group on General Aviation Airports Security, Transport Security Administration, http://www.tsa.gov/assets/pdf/ASAC_Working_Group_11-2003.pdf
[20] National Transport Safety Board (NTSB) statistics, , http://www.ntsb.gov/aviation/stats.htm
[21] AOPA (Aircraft Owners and Pilot Association) Air Safety Fondation, 2007 Nall Report - Accident Trends and factors for 2006, http://www.aopa.org/asf/publications/nall.html
[22] Moore, M. D.: NASA Personal Air Transportation Technologies, http://cafefoundation.org/v2/pdf_tech/NASA.Aeronautics/NasaPavTech.pdf
[23] Hadfaludy, L.: Autonóm fedélzeti repülési tanácsadó rendszer kifejlesztése és használhatóságának vizsgálata a kisgépes repülésben (Development of the autonom on-board flight advisory system and investigation of its applicability) magyar repüléstudományi Napok 2008, Budapest, CD. 2009.
[24] Flemisch F. O., et all: The H-metaphor as a guideline for vehicle automation and interaction, NASA/TM—2003-212672, http://wiw.f4.htw-berlin.de/users/nullmeier/mmk/MMK06_AG3_H-Metapher_Flemisch.pdf
[25] Rohacs, D.: "An Initial European Small Aircraft Prediction Model for 2020". In *Proceedings of the 2nd International Conference on Research in Air Transportation* (ICRAT), Belgrade, Serbia and Montenegro,

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Kis J. Ervin

AZ IZRAELI LÉGIERŐ RÖVID TÖRTÉNETE

Kétezer-százhuszonöt kilométer repülés és alig három órás légiút után egy Dunántúl nagyságú kis ország, Izrael földjén landol képzeletbeli repülőgépünk. A 20.770 négyzetkilométer nagyságú országot Libanon, Szíria, Jordánia, Egyiptom és a Földközi-tenger határolja.

Izrael állam története mindössze 45 éves, de az itt élő emberek históriája visszanyúlik egészen az ókorig. A Közel-Kelet ezen részén számtalan összetűzés és háborús konfliktus volt, civilizációk ünnepelhették itt győzelmüket, vagy tűntek el végleg a süllyesztőben.

Ez a hely a világvallások bölcsője, innen terjedtek el a Föld minden részére. Ezek az események sok áldozatot követeltek Izrael népétől. Évszázadokon keresztül üldözték a zsidókat, templomaikat lerombolták és hiába építették újjá a falakat, kupolákat, ismét a pusztítás következett. A Római Birodalom idején a zsidóság szétszéledt a világban, majd az elkövetkező évszázadok során Palesztina arab befolyás alá került.

A első világháborút követően brit zászló került az ősi várak tornyaira, majd 1947-ben az ENSZ kinyilvánította Palesztina felosztását. A területet két államra osztották, zsidó és palesztin részre. De az arabok visszautasították az ENSZ határozatát, és 1948-ban Szíria, Irak, Jordánia, Szaud-Arábia és Egyiptom felkészült a háborúra. A körülzárt Palesztina várta, hogy az utolsó brit katona is elhagyja az országot.

1948. május 14-én David Ben-Gurion kikiáltotta az új Izrael állam függetlenségét. Ezzel a legtöbb zsidónak régi álma vált valóra, de az arabok számára csak egy célt jelenthetett - a háborút. A felhőtlen ünnepnapokat hamarosan a sokkal kegyetlenebb valóság, a háborús hétköznapok követték.

A fiatal Izrael megkezdte első háborúját.

Az arab országok terve a gyors győzelem volt, hogy még egy hatékony és erős hadsereg létrehozása előtt szétrombolják Izraelt. Miközben az egyiptomi Dakoták és Spitfighterek bombázták, lőtték Tel-Avívot, Izraelt mindössze néhány légvédelmi üteg és könnyű polgári repülőgép védte. Minden lehetséges lépést meg kellett tenni, hogy repülőgéphez juthassanak. Így például egy képzeletbeli filmgyár amerikai repülőgépeket vásárolt filmjéhez, ami furcsa módon soha nem készült el, viszont felépült az izraeli légierő. Izrael pilótái a második világháborúban a Royal Air Force századaiban repült zsidók és önkéntesek voltak.

Az izraeli kormány által vásárolt első gépek egyike az Avia S-199-es volt, a csehszlovák építésű Messerschmidt 109-es. Az S-199-es, mely néha legalább olyan veszélyes volt a vezetőjére, mint az ellenségre, hamarosan a "Nezek", a "Szamár" gúnynevet kapta.

Más gépeket is vásárolt az izraeli légierő Csehszlovákiától. Például a háborúban használt Spitfighter MK-9-est. A P-51-es Mustang lett az izraeli légierő alaptípusa egészen 1953-ig, amikor

Izrael megkapta az első sugárhajtású repülőgépet, a Gloster Meteort. 1954-ben megkezdődött a minőségváltás, ugyanis a légierő megvásárolta az első ND 450 Ouragan-t, amelyet a Mister 4-A is követett.

„A "francia korszaknak" nevezett időszakban kapták meg a pilótáink az első nagyteljesítményű harci gépet, a Mister 4-A-t. Ez a típus több célra is kiválóan alkalmas volt, hasonlóan a következő időszak amerikai vadászaihoz, a Phantomhoz és az F-család tagjaihoz. A Mister ugyanúgy új korszakot jelentett, mint a Spitfighter. Botkormányaik mögött tanultuk meg - a légcsavaros gépekről való átállás után - a Jet-korszak megkövetelte, újfajta harcmódot. A Mister sokszor bizonyította kiváló támadó képességét, nagyobb súlya ellenére a légi harcokban kiváló ellenfele volt a nagy riválisnak, a szovjet MiG-15-ösnek.[1]

Amikor a Szuezi-válság kitört, az Israel Air Force már nem volt a pénzsóvár zsoldosok és kalandorok csapata, hanem első osztályú légierőnek számított. Jól felkészült pilótái vezették a még csak korlátozott számban lévő modern sugárhajtású gépeket. A Szuezi-válság első izraeli légitámadását mégsem a sugárhajtású gépekkel, hanem a jó öreg Mustangokkal hajtották végre.

1956. október 29-én négy P-51-es repült be nagyon alacsonyan Egyiptom területére, és légcsavarjaikkal elvágták a telefonvonalakat. A sikeres akció megteremtette egy meglepetésszerű támadás lehetőségét. A P-47-es Dakoták, Ouraganok és Misterek segítségével ejtőernyősöket dobtak le Egyiptom területére, akik megnyitották a lehetőséget a szárazföldi csapatok számára. Néhány nappal később már az egész Sínai-félszigetet is megszállták, és az egyetlen Vörös-tengeri kikötő, Eilat is blokád alá került. Ugyanakkor a francia és brit erők a csatorna uralmáért harcoltak és a háború kilenc nap után befejeződött. A szuperhatalmak ultimátumban kényszerítették Franciaországot és Nagy-Britanniát, hogy vonják ki csapataikat az övezetből. Szigorú felügyelet alatt Izrael is kivonta erőit a Sínai-félszigetről.

A háború után fegyverkezési verseny kezdődött a Közel-Keleten. Az arab országokat a Szovjetunió támogatta, így hamarosan az egyiptomi repülőtereken is megjelentek a MiG-15-ösök. Akkor még úgy látszott, hogy a MiG-ek régi harci tulajdonságai nem érik el a Mister-4-esek paramétereit. Később a MiG-15-öst a MiG-17-es váltotta fel. A Fresco magasabbra repült, így felülmúlta a Mister-4-est. Az arabok ezzel egyensúlyozták a technológiai hátrányukat. Az a gép, amelyik végleg felborította az egyensúlyt, a MiG-21-es volt. Ezt már kimondottan elfogó-vadásznak tervezték, és generációjának a legjobb repülőgépe volt.

A Sínai-válságot követő tíz év alatt nyomon lehetett követni a légierő fokozatos áttérését az utolsó dugattyús-motorú gépekről a sugárhajtásúakra, amelyek az Ouraganok, a Misterek és a Super Misterek voltak, majd a Mister-4-es szuperszonikus verziójáig folytatódott a fejlesztés.

A Mosquitókat a Vantourokkal helyettesítették, és a Vantourt felderítésre és bombázó feladatokra használták. Az alaptípust a szárazföldi célok támadására alkalmazták.

[1] Veterán katona visszaemlékezése

1962-ben egy olyan új vadászgép szolgálatba állítása kezdődött meg Izraelben, mely a légierő életében fordulópontot jelentett. A Mirage III-C akkoriban Nyugat-Európában a legmodernebb repülőgépnek számított. Ez volt Izrael válasza a MiG-21-es bevezetésére.

1966-ban és 1967-ben a feszültség ismét nőtt a Közel-Keleten, az arab országok anticionista kampányba kezdtek, megpróbálták Izraelt provokálni és rávenni az ottani sajtót, hogy hirdessen "szent háborút." A zsidókat vissza akarták szorítani a tengerbe. Szíria és Egyiptom készültségbe helyezte a csapatait a határok mellett és Nasszer elnök elűzte az ENSZ-megfigyelőket a Sínai-félszigetről. Az arabok készen álltak a támadásra. Ezzel egy időben Izrael is mozgósította tartalékos csapatait, és várt. A feszültség szinte tapintható volt. Egy jelentéktelen incidens is elég lett volna ahhoz, hogy ismét lángba boruljon a határövezet.

1967. június 5-én reggel 7.45-kor 180, teljesen felfegyverzett 3x40 izraeli gép szállt fel, hogy meglepetésszerű támadást hajtson végre egyiptomi légi támaszpontok ellen. Az izraeli kormány tudomásul vette, hogy egy sokkal erősebb ellenség támadása esetén a túlélés esélye nulla, ezért úgy döntött, hogy a legjobb védekezés a támadás.

„Az 1967-es hatnapos háború merőben új feladat elé állította az izraeli légierőt. Eddig még soha nem kellett az ellenség hátországában végrehajtania tömeges légicsapásokat. Erre akkor tapasztalatok híján, előre kidolgozott taktika, harceljárás nem volt. Az 1956-os háborúban az arab bázisokat angol és francia gépek támadták, most nekünk kellett titokban megközelíteni, és mélyrepülésben szétrombolni a sivatagi repülőterek fel- és leszállópályáit."[2]

Az akció teljes sikerrel zárult, néhány óra alatt a 419 egyiptomi harci gépből 304 a földön semmisült meg. A kiszolgáló személyzet aktív részvétele is hozzájárult a sikerhez, szakmai tudásuknak és gyorsaságuknak köszönhetően a gépek üzemanyaggal történő újrafeltöltése és újrafegyverzése néha még két és fél percig sem tartott. A légitámaszpontokat sorra rombolták le. Nem kímélték Jordániát, Szíriát és Irakot sem. A 112 szíriai vadászból ötvenhármat semmisítettek meg. A jordániai légierőt teljesen leradírozták az égről, tíz iraki vadászt pedig a betonon romboltak szét gépágyú-sorozatokkal. Néhány MiG-nek sikerült felszállnia, de a legtöbbjüknek ez volt az utolsó bevetése.

A légi harcok során a Mirage-okkal repülő izraeli pilóták bebizonyították a világnak a tudásukat. Még a Mistereknek is sikerült elkapniuk néhány MiG-et. A harcok eredményei önmagukért beszéltek: 79 arab gép zuhant le, három izraeli veszteséggel szemben. Ez megsemmisítő győzelem volt. A térségben az Israel Air Force uralta az eget. A szárazföldi erőket modern fegyverzetük megvédte bármilyen ellenséges légitámadástól. Az arab hadseregek helyzete kétségbeejtő volt és reménytelen. Az elkövetkező napokban Izrael több légitámadást hajtott végre katonai konvojok ellen.

A repülősök oktatására használt Fuga Magistereket most különleges, földi célok elleni fegyverekkel szerelték fel. A Magisterek - a Ouraganok kíséretében - egy hadtörténelmi jelentőségű

[2] Veterán katona visszaemlékezése

légitámadást hajtottak végre a Mitla-hágó felé haladó katonai konvojok ellen. A teherautók százai estek itt csapdába, és semmit sem tudtak tenni, hogy megvédjék magukat. A támadást követően kiégett és szétrombolt teherautók tucatjai borították el a sivatagot. Az egyiptomiak gyalog indultak el haza.

A Jeruzsálem külvárosáért vívott harcokban a jordánok nagy erőket vetettek be. Az egyetlen segítséget a Ouraganok légi biztosítása jelentette. Tűztámogatásukkal sikerült csak az izraeli ejtőernyősöknek ellenőrzésük alá vonni a fővárost. Amikor június 10-én végleg aláírták a fegyverszünetet, teljesen nyilvánvaló volt, hogy Izrael az igazi győztes, és a dicsőség főleg a légierőt illeti meg. Ám ők is súlyos árat fizettek a győzelemért, 785 halott, 2500 sebesült és 46 Dávid-csillagos repülőgép csapódott a sivatag homokjába. Az arabok 452 repülőt és 500 tankot, háborús gépezetük 70 százalékát vesztették el.

„Az 1967-es háborút követően a szovjet rakéták tömeges megjelenése és alkalmazása miatt egy új típusú veszéllyel kellett szembenézni. Azelőtt a légierővel csak a légierő harcolt. Az egyiptomiak és szovjet tanácsadóik nemcsak a városok és objektumok körül, de a Szuezi-csatorna partján is telepítettek indító állásokat."[3]

A hatnapos háborút követően De Gaulle tábornok parancsára beszüntették a fegyverek szállítását Izraelnek. A légierő ezt követően kezdte meg tárgyalásait az USA-val, és 1968-ban megérkeztek az első A-4 H Skyhawkok. Az elkövetkező években más típusú Skyhawkokat is hadrendbe állítottak. Néhány gépet az elektronikai hadviselés eszközeivel szereltek fel. 1969-ben Izrael megkapta az első F-4 Phantomját. Az F-4-es vitathatatlanul a hatvanas évek legjobb elfogó vadásza volt, és a vietnami háborúban már bizonyította harci alkalmazhatóságát. Az izraeli légierő a Phantom legmodernebb változatát, az EF-et rendelte meg. Az új típus ahhoz már túl későn érkezett, hogy döntő szerepet játsszon a fegyverkezési versenyben, de intenzív részese lett a Yom Kippur-háborúnak. A frontok nélküli háború három évig tartott, és nem nyílt konfliktusok, hanem többnyire elszigetelt összecsapások jellemezték. A légierő is részt vett az ellenséges vonalak mögötti akciókban, katonai és terrorista célpontokat támadott, továbbá néhány légi harcra is sor került. A szovjet beavatkozások egyre nyilvánvalóbbakká váltak. Látszólag a szovjetek csak kiképezték az egyiptomiakat a légvédelmi rakéták kezelésére, de orosz pilótát és vadászgépeket is észleltek egyiptomi légtérben.

1970. július 30-án légi harc alakult ki izraeli Mirage-ok, Phantomok és szovjet MiG-ek között. A légicsata során 5 MiG-et lőttek le, míg az izraeliek egyetlen gépet sem vesztettek. Végül augusztus 7-én ismét tűzszünetet kötöttek. A Yom Kippur-háborúban szovjet segítséggel már mindkét fronton nagy számban alkalmazták a föld-levegő rakétákat, de a győzelmet ez a segítség sem szerezhette meg a számukra. Az izraeli légierő - mint egy ökölbe szorított kéz -mindig készenlétben volt a védelemre és a támadásra.

Amikor a franciák feloldották az izraeli fegyver-embargót, Izrael azonnal megrendelt ötven vadonatúj Mirage V-öst, de a "Délibábokat" sohasem szállították le. Mégis, a hatékony izraeli

[3] Veterán katona visszaemlékezése

titkosszolgálatnak köszönhetően Izrael megszerezte a gép teljes dokumentációját, és gyártósorain meg is építette. A Phantom-hajtóművekkel felszerelt Mirage-törzsű gép 1972-re született meg Kfir néven. 1976-ra egy másik kópiája is elkészült Kfir C-2 néven. De ez már alig hasonlított az eredeti francia tervre.

Az "Engesztelés Napi" háború volt az első alkalom, amikor a harcok az elektronikus hadviselésre is kiterjedtek. Az arab országok ekkor már a legmodernebb szovjet légvédelmi pilótarendszereket működtették. Az akkor már Vietnamban is széles körben alkalmazott SA.2 rakétákon kívül egy újabb föld-levegő típus, az SA.3-as is bevetésre került. Ez már radar-irányítású volt, és közepes magasságban az elődjénél sokkal hatékonyabban pusztított. Az első időkben mozgó indító-állványokról alkalmazták a radar-irányítású rakétákat. Így sokkal nehezebb volt megtalálni, és megsemmisíteni, mint az SA-2-eseket, melynek telepített kilövő-állásait már jól ismerték. Rövidebb hatótávolságuk ellenére is ezek a rakéták okozták a legnagyobb veszteségeket az izraeli légierőnek.

A háború az arabok meglepetésszerű támadásával indult az "Engesztelés Napján", az egyik legszentebb zsidó ünnepen. Az izraeli légvédelem szinte teljesen tehetetlennek bizonyult. A föld-levegő rakéták csaknem halálos pontossággal lőttek le minden, a hatótávolságukba berepülő gépet, miközben az egyiptomi szárazföldi haderők az ország belseje felé haladtak. A meglepetés traumája után a kékcsillagos gépek óráról órára, egyre jobban visszanyerték az uralmukat az égen. Új taktikát alkalmaztak, hogy elmenekülhessenek a rakéták elől, új módszerrel kerülték ki a halálos égi nyílvesszőket. Az elektronikus hadviselés műszaki arzenálja ekkor biztosította először a használhatóságát. A légi-irányítás és a repülőgépek közötti összehangolt tűzcsapások sok indítóállvány-állomás megsemmisítését eredményezték. Október 24-én újabb fegyverszünet aláírására került sor.

1976. július harmadikájának éjszakáján az izraeli légierő hozzáfogott eddigi legmerészebb vállalkozásának végrehajtásához. Hét nappal korábban egy francia utasszállító repülőgépet eltérítettek és leszállásra kényszerítettek Uganda entebbei repülőterén. A zsidó utasokat túszul ejtették a gépeltérítők, és cserébe számos terrorista szabadon bocsátását követelték. Az izraeli válasz a "Villámcsapás" hadművelet volt. Titokban két C-130-as Hercules szállt fel. Az egyik fedélzetén speciálisan kiképzett kommandósok készültek bevetésre. A Herculesek Entebbébe repültek, és mire az ugandaiak ráeszmélhettek volna, hogy mi is történik a repülőtéren, a túszok már ismét szabadok voltak, és biztonságban repültek Izrael felé.

1981-ben az Israel Air Force végrehajtott egy nagy távolságú átrepülés utáni légicsapást. Az izraeli gépek három ellenséges országon repültek keresztül, hogy megakadályozzák a Bagdad melletti osiraki nukleáris erőmű építésének befejezését, ahol az iraki atombombához szükséges plutóniumot állították volna elő. Az F-16-os "Sólymokat" az F-15-ös "Sasok" támogatták.

Az F-15-ösök már 1977 óta hadrendben álltak, bár az izraeliek sokáig tétováztak, hogy megvásárolják-e ezt a drága típust, de a "Sasok" már egy évvel később, a libanoni háborúban bebizonyították, hogy nem volt felesleges a rájuk költött pénz. 1981. június 7-én nyolc F-16-os szállt

fel két tonna bombával a szárnya alatt a bázisáról. Küldetésük során 970 kilométert repültek kis magasságban, ellenséges területek felett az osiraki erőmű felé. A támadás csak hét percig tartott. Mindegyik Falcon egyszer repült rá a célpontjára, és sebészeti pontossággal dobta le terhét az előre meghatározott épületrészekre. Teljesen lerombolták az erőművet.

1. ábra. F-15-ös

A hetvenes évek elején a Palesztin Felszabadítási Szervezet megalakította libanoni központját. Az észak-izraeli falvakat sorozatvetőkkel és 40 km-es hatótávolságú rakétákkal lőtték. 1982-ben megszaporodtak a támadások, és a falvak lakói olykor több időt töltöttek az óvóhelyeken, mint az otthonukban. 1982 júniusában adták ki a parancsot a "Béke Galileáért" fedőnevű akció végrehajtására. A hadsereg betört Libanonba, hogy visszaszorítsa a PFSZ erőit a térségből. A légitámadások megakadályozása az Israel Air Force feladata volt. Az F-15-ös és F-16-os kötelékeket Faro és Zefir, légiharcra alkalmas rakétákkal szerelték fel. Izrael előzetesen informálta szándékáról Szíriát és az izraeli pilóták csak támadás esetén lőttek szíriai célokat.

A Truman E-2-esek és Hawk-ok 1978 óta állnak szolgálatban, mint repülő felderítő állások, információik alapján a vadászgépek halálos pontossággal semmisítették meg a földi és légi célpontjaikat. Ebben az időben az arab országok pilótái a MiG-21-es legújabb változatával repültek, és már hadrendben álltak a szovjetek legmodernebb vadászai, a változtatható szárny-nyilazású MiG-23-as Floggerek is. Mindössze két nap kellett ahhoz, hogy a légi háború véget érjen. Az eredmény szinte hihetetlen volt. Az Israel Air Force egy gépet vesztett, de lelőtt 85 Mig-21-est és 23-ast. Ismét Izrael szerezte meg az uralmat az égen.

„Az újságcikkek, könyvek, akciófilmek legtöbbször nagy kalandnak, vidám és könnyű dolognak mutatják be a vadászgépek harcát. Ezzel szemben az összes háború, amelyben részt vettem, 1956-ban, 1967-ben és 1973-ban nagyon kemény élet-halál harc volt, óriási emberi áldozattal és anyagi veszteséggel.”[4]

Az izraeli pilóták alapkiképzésére még mindig azt a gépet használják, amelyet a második világháború előtt. A repülő iskolák legtöbb Fighter Cup-ja harminc évesnél idősebb, de ennek ellenére még mindig szolgálatban állnak. Izraelben – jobban, mint bárhol másutt a világban - a pilóták alkotják

[4] Veterán katona visszaemlékezése

a fegyveres erők elitjét. Ezért kiválasztásuk, kiképzésük különösen szigorú és nehéz. A pilóta-növendékek csak a katonai alapkiképzés és szigorú tesztek után kezdhetik el a felkészülésüket. A földi kiképzést a kezdő tanfolyam követi a Fighter PA-18 Super Cup-okon. A létszám szinte napról napra változik, mert csak a legjobbak kapnak lehetőséget a kiképzés folytatására.

„A legszörnyűbb pillanat az, amikor a növendékek számára kihirdetik, hogy ki esett ki a csapatból."[5]

A Fighter után a Fuga Magister-rel, becenevén a Cukit-tal folytatódik az oktatás. 1960 óta az Izraeli Repülőfejlesztő Intézetben gyártják a Magistereket, licenc alapján. Ma már csak tananyag, hogy egykoron az izraeli és szíriai repülőszázadok úgy szálltak szembe egymással, ahogyan az első világháború idején küzdöttek a kor vadászgépei. A könnyű kétfedelűek helyett a Bekaa-völgyben már a legmodernebb sugárhajtású vadászgépek csapnak össze. A Cukit kis pilótafülkéjében eltöltött számos óra után jöhet csak el a fiatal pilóták számára a várva várt pillanat, az első, egyedül történő repülés.

Mire a növendékek leteszik az utolsó vizsgát is, és megkapták a jelvényüket, az első, Fighteren repült óra már csak szép emlék. A pilótákat ezt követően a légierő különböző bázisaira vezényelik. A repülőgépvezetők a családjukkal együtt élnek a szolgálati helyükön. Noha Izrael kis ország, számos olyan támaszpontja van, amilyenekkel csak az USA-ban lehet találkozni. A repülőterek azonban már inkább egy átlagos falura emlékeztetnek. Üzletek, sportpályák, iskolák épültek a katonai bázisok mellett. Nem kell lebecsülni ezeket a sivatagi repülőtereket, mert saját légvédelemmel és vadász-irányítással rendelkeznek, így háborús körülmények között önállóan is képesek hatékonyan tevékenykedni.

„Az utódok nem feledkeznek meg az elődök helytállásáról. A hősi halott pilótákra a repülőtereken szobrok, domborművek emlékeztetnek. Az izraeliek tudják, mivel tartoznak ezeknek az embereknek. A veterán repülőgépek szintén érzik a nagyszerű pilóták emlékét. A Ouraganok, a Misterek és a Mirage-ok már csak a viharos múlt mementói."[6]

A szállítási feladatok ellátására még mindig a jó öreg C-47-eseket használják. Bár néhány Dakota már az elektronikai hadviselésre átalakítva éli át a második fiatalságát. Itt is, mint a legtöbb országban, a C-130-as Hercules az általános szállító gép. Az izraeli szállító-pilóták a világ legjobbjai közé tartoznak, amit 1990 júniusában, a szállító pilóták rodeóján ismét bebizonyítottak. Ezt a versenyt Észak-Karolinában rendezik meg a világ legjobb szállítórepülő-csapatainak a részvételével. Hercuselek és Star Lifterek tucatjainak személyzete méri össze a tudását speciális feladatokban, így navigáció, taktikai repülés, ejtőernyősök és terhek ledobása, sivatagi kényszerleszállás pontszámai alapján alakul ki a végső sorrend.

Az izraeli csapat kimagasló eredménnyel hajtotta végre a feladatokat, és kiérdemelte a legjobb külföldi csapatnak járó trófeát.

[5] Veterán katona visszaemlékezése
[6] Veterán katona visszaemlékezése

A helikopterek lényeges szerepet játszanak az izraeli légierőben. A Yom Kippur-háború alatt, de a libanoni háborúban is a helikopterek okozták a legnagyobb veszteségeket a harckocsik, szárazföldi erők és a terroristák ellen vívott küzdelemben. A Bell 212-es a helikopter-flotta mindenese. Nemcsak csapatokat és felszereléseket szállíthat, de fejlett navigációs rendszere különleges feladatok végrehajtására is alkalmassá teszi.

A helikopter a földi akciókkal koordinálva légi megfigyelőként is működhet. Izrael 1969 óta Sikorsky S-65 C-3-asokat is rendszerben tart. Ez a nehéz szállító-helikopter kiválóan alkalmas nagy magasságban és forró éghajlaton is bevetésekre.

1969 decemberében, amikor az izraeli kommandósok elfoglaltak egy szigorúan titkos szovjet radarállomást Egyiptomban, ilyen helikopter szállította a felderítők karácsonyi ajándékát Izraelbe. Az izraeli CH 53-asokat a sivatagi feladatoknak megfelelően speciálisan átalakították. A nagy jet-tankok mellett a törzs mindkét oldalán levegő-szűrőket szereltek fel, ami a homokviharok miatt előrelátó döntés volt. A csapatok támogatására és a harckocsik elleni harcra az AH-1-es Cobrát alkalmazzák. A legtöbb Cobrát már modernizálták. Új elektronikai rendszerekkel, páncéltörő rakétákkal szerelték fel, megerősítették a pilótafülkét, és módosították a hajtómű gázkiáramlását. A Hughes MD 500 Defender - együtt a Cobrával - a libanoni háború legfélelmetesebb helikoptere volt. Az MD 500-as kisebb és könnyebb, mint a Cobra, a szűk völgyekben és a hegyi harcokban főleg halk hajtóműve miatt alkalmazzák.

2. ábra. Izraeli AH-1 Cobra harci helikopterek

A Yom Kippur-háború alatt - elsősorban az izraeli stratégiának köszönhetően - a Skyhawk-századok szenvedték el a legnagyobb veszteségeket. A veszélyes harci akciókban az izraeliek az A-4-eseket küldték harcba, kímélve az újabb és drágább Phantomot, egészen addig, amíg az F-16-osok nem érkeztek meg. Sok pilóta az A-4-est tartotta a legjobban manőverező gépnek a Közel-Keleten.

Az öreg Phantom-2-esek is repülnek még. Igaz, már túl vannak a modernizáláson. Lecserélték a két hajtóművet, átalakították a pilótafülkét, és megerősítették a szerkezetét.

Az eredmény: a Phantom-2000, vagy a Super-Phantom, mely már egy teljesen új repülőgép. Az F-4-estől csak a külső megjelenését örökölte.

Mint a legtöbb légi flotta, az izraeli légierő is képes a gépeit a levegőben újra tölteni. Ezzel nagyobb hatótávolságot biztosít számukra. Két rendszert használnak. Az első a csöves, kosaras módszer, amely főleg a Phantomok és a Skyhawkok utántöltésére alkalmas. Terveztek egy másik szerkezetet is. Mind a KT 135-ösöket, mind a Boeing 707-est felszerelték egy mozgatható merev csővel. A kezelője a műveletet a tanker belsejéből, videokamera segítségével irányítja. A légi-utántöltésnek ezt a módját az F-15-ösöknél és az F-16-osoknál alkalmazzák. Ezen túlmenően az A-4-eseknek is van egy utántöltésre alkalmas testvére. Ezzel az A-4-es képes egy másik Skyhawkot a levegőben feltölteni. A rendszer előnye, hogy tetszőleges mozgékonyságot biztosít, és nincs szükség az utántöltéshez a nagy tankerekre.

Az első F-16-osok, amelyek 1981-ben érkeztek Izraelbe, az A- és a B-modellek voltak. Az F-16-B kétkormányos gép. Hagyományos gyakorlógépként használják. A Spitfighter, a Mirage és az F-16-os a légierő fejlődési folyamatának a láncszeme. Már a Fighting Falcon, a Spitfighter és a Mirage szűk kabinja után valóságos felüdülést jelentett pilótáink számára. A Spitfighter a 40-es évek kiváló angol konstrukciója volt, a német "Messe 109"-es méltó ellenfele az égen. Alapfegyverzettel csak légi harcra volt alkalmas. A francia Mirage III.- igaz, csak korlátozott mértékben - már képes volt földi célok támadására is szovjet kortársához, a MiG-21-eshez hasonlóan.

„Az F-16-os már egyesíti magában a korszerű vadászgépek összes jó tulajdonságát, kitűnő a manőverező- és a légiharc-képessége, nagy hatótávolságú és sokoldalú fegyverzettel szerelhető fel. A repülőt vezető kényelmi szempontjaira is figyeltek a tervezők, de nekünk, vadászrepülőknek mégis az F-16-os az igazi kedvencünk. A "Sólyom" egyszerre jelenti számunkra a 45 éves termékfejlesztés állomásait és a mai kor színvonalát.”[7]

3. ábra. Az Izraeli Légierő felségjele egy F-16-oson

Ez a Kfir C-2, az "Oroszlánkölyök", már csak külsejében hasonlít édesapjára, a Mirage V-ösre, de valójában teljesen új konstrukció. A legnagyobb problémát az jelentette a gyártónak, hogy a C-2-es amerikai hajtóművekkel készült, és ez korlátozta a gép exportlehetőségeit.

Amióta a francia gyártmányú Apal 9 K-50-es hajtóművet szerelik a Kfir-be, ez is megoldódott. Ez az új együttműködés pontot tesz a két nemzet közötti embargóra, melyet még De Gaulle rendelt el. A

[7] Veterán katona visszaemlékezése

felszíni légvédelmi rakéták szintén az Israel Air Force irányítása alá tartoznak. A Hawk indítóálláoks valahol az izraeli határ mellett állnak, és állandó készültségben várják, hogyha ellenséget fedeznek fel, azonnal akcióba léphessenek.

A határokhoz közeli területek felügyeletére és felderítésére távirányítású repülőgépeket is használnak. A rádió-irányítású repülőgépeket felszerelték videokamerával és egy adóval is, így az adatokat folyamatosan küldi értékelésre az irányító-központokba. A felderítési feladatokon kívül az RPV arra is alkalmas, hogy segítségével koordinálják a földi akciókat. A "repülő szem" előnye, hogy olcsó, könnyű kezelni, és mindenkor valós képet ad a bevetési övezetekről.

A LAVI az izraeli repülőtervezők és repülőgyártók tudásának csúcsterméke. Prototípusa a legmodernebb technikával készült, és kétségkívül a világ egyik legkorszerűbb vadászgépe. 1987 végén, a második gép elkészülte után azonban a további fejlesztéseket leállították, mert a típus túl drágának bizonyult. A gyártók azonban mégis hozzákezdtek a LAVI harmadik modelljének építéséhez, hogy a levegőben is bemutathassák a sokoldalúságát. 1989. szeptember 25-én emelkedett először a levegőbe a "Nőstényoroszlán". A LAVI-t már a 1120-as hajtóművel látták el, azaz ugyanolyan gázturbinával, mint a Super Phantomot és az F-18-as Hornetet. A gép "fly by wire" rendszerrel irányítható. Mint az F-16-os vagy az új JAAS 39 Gripen is egy több célú gép, amely egyaránt alkalmas szárazföldi célok leküzdésére, felderítésre és légi harcra.

Lehet, hogy a LAVI-val, lehet, hogy nélküle, de egy dolog biztos: az izraeli légierő a továbbiakban is őrzi és megvédi országa légterét!

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] BIMBÓ J., *A légierő a háborúkban*, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1973.
[2] BIMBÓ J., *A légvédelem harcászata*, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1983.
[3] BAXTER, S., *Arab-Israeli War October 1973, Lessons Learned, Lessons Forgotten*, Naval War College, Szakdolgozat, Newport, 1994.
[4] COOPER, G. H., *Operational Art in the 1973 Arab-Israeli War (An Egyptian Perspective)*, Naval War College, Szakdolgozat, Newport, 1997.
[5] DOROSKI, C. F., *The Fourth Arab-Israeli War: A Clausewitzian Victory for Egypt in Seventy-Three?*, Naval War College, Szakdolgozat, Newport, 1995.
[6] HALLER, J. JR., *Flexible Air Strategy and the 1973 October War,* 1995.
[7] LOEFSTEDT, A. B., *Yom Kippur 1973: An Operational Analysis of the Sinai Campaign*, Naval War College, Szakdolgozat, Newport, 1996.
[8] THE MILITARY BALANCE 1973-1974, The International Institute for Strategic Studies, London, 1973.
[9] O'BALLANCE, E., *No Victor, No Vanquished: The Arab-Israeli War 1973,* Presidio Press, Novato, 1978.
[10] OSZETZKY, T., *Arab-izraeli háborúk 1948-1982*, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1984.
[11] SPEIER, W.A., *Operational Art Considerations For Army Air And Missile Defense: Lessons From The October War*, Szakdolgozat, School of Advanced Military Studies - United States Army Command and General Staff College: Fort Leavenworth, 2003.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Koleszár Béla

A VEGYES, HUMÁN ÉS ROBOTJÁRMŰVEKBŐL ÁLLÓ KONVOJOK MODELLEZÉSE

1. BEVEZETÉS

Az **aszimmetrikus hadviselés**nél, a harcászatilag gyenge ellenfél kerüli a direkt összetűzéseket, inkább lesből támad az általa gyengébbnek, kevésbe biztosítottnak vélt pontokra. Általában sem a teljes megsemmisítéshez, sem a zsákmányszerzéshez nincs elég lehetőségük, ezért **a lehető legrövidebb időn belüli legnagyobb anyagi-, emberi-, (tömeg-) pszichikai-, politikai károkozás**ra törekednek… *„A NATO afganisztáni és az iraki műveletek tapasztalatai azt mutatják, hogy az aszimmetrikus hadviselésben a harcos katona és a kiszolgáló katona közötti különbségek eltűntek. Mindenki, mindenhol célpont, …”* [1] A szükséges utánpótlás (élelmiszer, ivóvíz, üzemanyag, energiahordozók, építőanyag, alkatrészek, gyógyszer, lőszer, stb.) érdekében útnak indított járműoszlopok ellen intézett támadások megelőzése, kivédése nagyon nehéz feladat!

A *„Szárazföldi harcjárművek és robotjárművek védelme a rögtönzött robbanóeszközök ellen”* [2] c. cikkemben a **veszélyeztetettség csökkentése érdekében** valós méretű szárazföldi **robotok** alkalmazásának a lehetőségét vetettem fel. Ezen írásomban a felmerülő elméleti-gyakorlati kérdéseket vizsgálom meg részletesebben. Egy kis történelmi áttekintés után a bekövetkezhető eseményeket analizálom, röviden kitérek a missziókat jelenleg fenyegető veszélyekre, az oszlopmenetek sajátosságaira.

2. A LOGISZTIKA FEJLŐDÉSE, KATONAI OSZLOPMENETEK

A klasszikus **karaván**okban a hajcsárok málhaszállító állatok (ló, teve, öszvér, szamár, elefánt, stb.) sorát vezették „úttalan utakon”, hegyeken, sivatagokon keresztül a távoli céljaikhoz. A vezetők a kitűnő helyismerettel rendelkező, legtapasztaltabb férfiakból kerültek ki.

A nagy hadjáratokhoz ez a szállítható mennyiség nem volt elég, igavonó állatok által húzott (tár-) szekerek szállították a felszereléseket. Az utak járhatósága határozta meg a hadviselés idejét is – a mi vidékeinken tavasztól őszig le kellett zajlania a felvonulásnak, a döntő csatá(k)nak, a birtokbavételnek, illetve a visszavonulásnak. Ha megfelelő időben, megfelelő mennyiségű és minőségű (pl. tűzerejű) technikát juttatunk a stratégiai pontokra, ezzel akár harc nélkül is eldönthetjük, tehát kiválthatjuk az ütközetet. Főleg az elhúzódó háborúkban hárult egyre nagyobb szerep a **hadtáp**ra, hogy a fronton harcoló katonákat minden szükséges eszközzel ellássák. A biztonságos hátországtól messzebb kerülve

ez a – ma használt szakkifejezéssel – **logisztikai ellátás** egyre nehezebb lett. Nem csak a duplán növekedő (oda- vissza) távolság miatt, hanem az elfoglalt területek sokszor ellenséges hozzáállása miatt is. A szállítmányok szükséges védelme erőket köt le – harcosokat, fegyvereket, muníciót, harcjárműveket von el a frontokról, növelve a kiadásokat, csökkentve a szállítási összkapacitást.

A nagyon hatékony, vízen való szállítás természetesen kötve van a tengerekhez, folyókhoz, tavakhoz, csatornákhoz. A szárazföldi szállításban nagyságrendi változást jelentett a vasút megjelenése – itt a vonalak kiépítése jelent nehézséget. A motorizáció terjedésével, ill. a kőolaj-lobbi erősödésével a vonatközlekedés háttérbe szorult – ez a folyamat kicsit paradox módon (környezetvédelmi kérdések, kimerülő szénhidrogén-készletek) még mindig tart.

A fejlett országokat behálózzák az autópályák, illetve a katonai szempontból még mindig kitűnő minőségű alsóbbrendű utak. A fejlődő országokban a helyzet más: a főútvonalakról letérve az utak minősége nagyságrendekkel romlik, egyesek nem minden évszakban járhatók, illetve csak nagyon jó terepjáró képességű járművekkel. Az utak keskenyek, kis teherbírásúak (pl. hidak!), kanyargósak, meredekek, vízátfolyásokkal szabdaltak, a karbantartás inkább csak problémamegoldó – gyakoriak az elakadások. Ilyen körülmények között a szállítási teljesítmény drasztikusan csökken! A főútvonalak ugyan jól járhatók, de ellenséges területeken itt is számolni kell egy esetleges támadás, rajtaütés lehetőségével. A logisztikai konvojok (nagyobbrészt) üresen megtett visszaútjuk során ugyanolyan veszélyeknek vannak kitéve, mint odafelé, kisebb teherrel viszont mozgékonyabbak. Az előre kijelölt menekülő utak általában rosszabb minőségűek, tehát ezek járhatóságára – teherbírására kell „szabni" a járműoszlop egészét. A nagy teherhordó képességű nyerges járműszerelvények, kamionok nem jönnek számításba, nehezebb terepen a többtengelyes pótkocsik használata is kérdéses. Maradnak az öszkerékhajtású, masszív kivitelezésű katonai terepjáró tehergépkocsik, defekttűrő kerekekkel, központilag változtatható abroncsnyomással, a veszélyeztetettség miatt páncélozott vezetőkabinnal (pszichikai okokból legalább két személy részére). Mindez a teherbírás rovására megy, ami a szállítási teljesítményt tovább csökkenti…

A **katonai oszlopmenetek** – konvojok elődeinek lehet tekinteni a karavánokat. Az egyedül közlekedő kereskedők jobban ki voltak szolgáltatva a rablóbandáknak, ezért csapatba szerveződtek. Egymást segítve, a karavánban szállított áru mennyiségéhez képest relatív kisszámú fegyveressel (**eszkort**tal) tudták biztosítani az elégséges védelmet.

Katonai konvojt életemben először 9 évesen, 1968-ban, Csehszlovákia megszállásakor láttam. A kíváncsiság hajtott minket, hogy megnézzük a tőlünk kb. 4 kilométerre lévő főúton éjjel-nappal nyugat felé dübörgő járműveket. Még bátran pár szót is váltottunk egy meghibásodott tank személyzetével. A kinézésre is soknemzetiségű szovjet katonák hozzánk, gyerekekhez ugyan barátságosak voltak, de látszott rajtuk, hogy fáradtak, piszkosak, feszültek - kimerültek. A terepszínű páncélosokra széles, fehér identifikációs csík volt festve, az autók többségének szélvédője sérült volt – kövekkel be voltak dobva! 40 km-el előbb, Kassán (Košice) lövések is dördültek – (civil) halálos áldozatok voltak. A kb.

25 km egyenes út után következő első éles kanyart „kiegyenesítve” Makrancon (Mokrance) elvittek egy disznóólat. Pár 100 méterrel tovább, a következő kanyarban egy komolyabb baleset is történt, ahol két szovjet katona meghalt – a közelben leszállt helikopterből kiszállt tiszt három jelzőrakéta fellövésével állította meg a konvojt. A (kölcsönös) bizalmatlanságot jól jellemezte a visszaemlékező: *„a kávéval kínált kiskatonák csak akkor mertek inni, miután a kináló néni előttük megkóstolta…”* [3] Rozsnyón (Rožňava) fordulás közben véletlenül *„egy rosszkor, rossz helyen lévő”* fiatal férfit nyomtak halálra. A csupasz lánctalpak után az útburkolat gyorsan morzsolódott, porzott, óriási volt a zaj, a füst. [4] Láttuk, éreztük, hogy ez nem sétakocsikázás! 1956-ban még nehezebb lehetett a „baráti segítség”, amikor nem csak kövekkel tiltakoztak ellene…

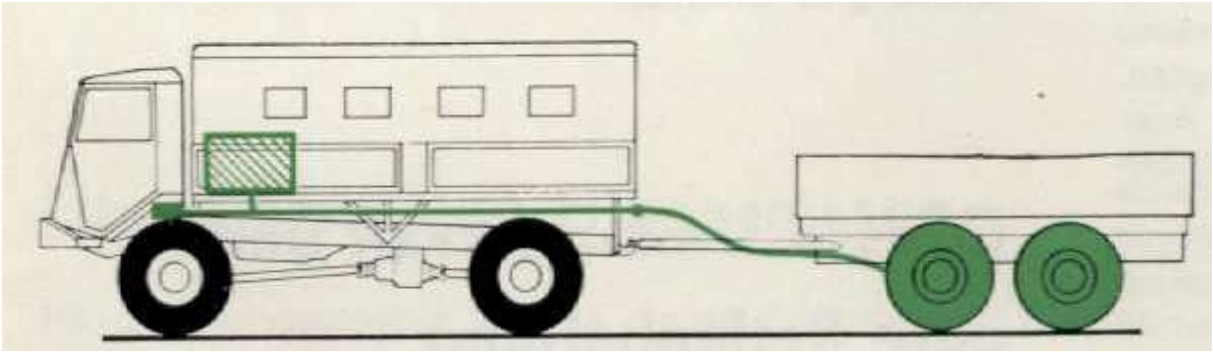
1. kép: 1956 - a szovjetek bevonulása Győrbe. [5]

A sorkatonai szolgálatom alatt, páncélos parancsnokként és kiképzőként saját magam is rendszeresen oszlopmenetekben, gyakorló vezetéseken vettem részt. Terepen, szűk átjárókon, meredek lejtőkön, amikor 40 tonna acél „megindul”, az nem játék! Porban, homokban, esőben, sárban, ködben, hóban, jégen, éjjel, periszkópokon keresztül, álcafények használatánál (újabban éjjellátó készülékek segítségével) mindez még veszélyesebb… Néhány idevágó idézet: *„A tapasztalatok szerint a páncélos technika alkalmazási összidejének 80%-a menetoszlopokban végrehajtott mozgás. Azt is megállapították, hogy az oszlopsebesség átlagosan 15-30%-kal kisebb az ugyanolyan körülmények között mozgó egyes járművek sebességénél… Harchelyzetben… az oszlopsebesség mindenképpen csökkenni fog.”* [6] A *„Missziós Alapismeretek Kézikönyv…”* szerint a sebességet az oszlopban haladó járművek sajátosságainak figyelembevételével kell meghatározni *„normál esetben 40-50 km/óra városon belül és 60-80 km/óra városon kívül” … „A maximális menetsebességet az oszlopban haladó leglassabb jármű határozza meg”… „Gépjármű vezetés szabályai Afganisztánban… El kell*

fogadni, hogy az ISAF a műveleti terület egészére 60 km/h maximális sebességet engedélyez, amelytől csak műveleti okokból lehet eltérni." [7]

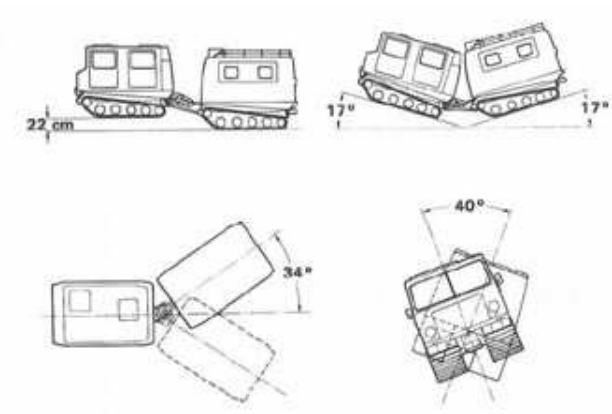
2. kép: Tipikus, hagyományos konvoj hegymenetben [8]

A **szállítási teljesítmény**t (változatlan személyzet mellett) pótkocsik alkalmazásával növelni lehet, de csak a fordulékonyság és a terepjáró képesség rovására. A meghajtott tengelyű pótkocsik a kerekes járműveknél nem nagyon terjedtek el.



3. kép: SISU KB-45 hidromechanikus pótkocsi-hajtása a 60-as évekből [9]

A kitűnő akadályleküzdő-képességű, „összlánctalpmeghajtású", csuklókormányzású járművek nagyon sikeresek lettek, csak a Hägglunds cég kétéltű BV 206-ból már több mint 11 000 darabot gyártottak, majd 40 állam hadseregében kerültek rendszeresítésre, a civil alkalmazásuk is jelentős. [10] Az extrém környezetekben is otthonosan mozgó járművek össz-logisztikai jelentősége viszont nem nagy, mert teherbírásuk aránylag kicsi, hosszú távokon az üzemeltetésük nem gazdaságos. Még a nehezebb, úszni már nem képes típusok védelme is csak átlagos.



4.,5. kép: Hägglungs BV 206, a két járműfél kapcsolódása [11,12]

3. A BÉKEFENNTARTÓ MISSZIÓK BIZTONSÁGÁNAK NÖVELÉSE ROBOTOK ALKALMAZÁSÁVAL

Veszélyforrások, és a veszteségek csökkentése. Az aszimmetrikus hadviselés taktikája vezetett el az oszlopmenetek ellen aknák, RPG[1]-k, öngyilkos merénylők, IED[2]-k VBIED[3]-k, EFP[4]-k bevetéséhez. A politikailag nagyon „kellemetlen" veszteségek csökkentésének egyik módja a **civil, polgári, félkatonai cégek** bevonása. Ezeknek a veszteségeik nem jelennek meg a kritikusan kezelt kiértékelésekben. Beláthatjuk, hogy ez az út egyáltalán nem etikus… *„előfordul az is, hogy a PMSC[5]-k (és alkalmazottaik) magatartása miatt a reguláris erők nehéz helyzetbe kerülnek: Irakban például az utánpótlás akadozni kezdett, amikor a kontraktor cégek szállítmányait többször is megtámadták – a konvojok vezetői nem voltak hajlandóak olyan kockázatot vállalni, amely (egyoldalú értelmezésük szerint) meghaladta vállalt kötelezettségeiket."* [14]

„…Afganisztánban például a szállítások nagy részét olyan helyi gépjárművezetők végzik, akik nincsenek személyi védőeszközökkel ellátva. Megdöbbentő, de éppen egy ***„speciális"*** *passzív védelmi rendszabályoknak köszönhetik biztonságukat, amelyek a taktikai helyzetnek és a helyi fenyegetettségnek megfelelően fejlesztettek ki. A helyi gépjárművezetők járműveit ugyanis itt* ***„csengő kamionoknak"*** *hívják a lakosok keletkező hangok miatt, amit kocsikra felakasztott, dekoratív színes fém bojtok és fémláncok széles sora ad ki magából. Az ilyen járművet már több száz méterről mindenki meghallja, ezért senki sem kockáztatja meg, hogy konvojokba szervezve, katonai kísérettel indítsa azokat útba. Így ezek a járművek függetlenül, mindenfajta katona védelem nélkül közlekednek, és hogy ne hívják fel a helyi ellenállók figyelmét magukra, a vezetőik és a kocsikísérők nem hordanak se sisakot, se golyóálló mellényt. Ez a szállítási módszer az adott körülmények között igen sikeres, és*

[1] RPG–7 oroszul: РПГ – **Р**учной **П**ротивотанковый **Г**ранатомёт / RPG – Rucsnoj Protyivotankovij Granatomjot, magyarul: kézi páncéltörő gránátvető [13]
[2] IED - **I**mprovised **E**xplosive **D**evices = rögtönzött robbanóeszközök
[3] VBIEB - **V**ehicle **B**orn **IED** = járművekre telepített IED
[4] EFP - **E**xplosively **F**ormed **P**rojectiles = robbantással formált lövedékek
[5] PMSC - **P**rivate **M**ilitary and **SeC**urity industry = katonai/biztonsági magánszektor [14]

minimális a szállítmányok elvesztésének kockázata." [15] A **helyi fuvarozók** bevonása a szállítási láncba az egyik szempontból pozitív, hiszen helyben teremt munkahelyeket, viszont itt is felmerül egy kézenfekvő erkölcsi kérdés: Nem vándorol a szállítási díj egy része (esetleg kényes információkkal egyetemben) „védelmi pénzként/védővámként" a terroristák kezébe?

6.,7. kép: „Jingle Truck"-ok Afganisztánban [16]

A szállítási vonalak állandó ellenőrzése nagy segítséget jelentene, de sajnos ez gyakorlatilag lehetetlen: *„Gondoljunk bele, hogy egy több száz km-es menet esetén milyen műszaki támogatás kellene ahhoz, hogy egy utat több tíz méter szélességben meg tudjunk tisztítani, és akár hosszabb időn keresztül ezt biztosítani tudjuk, hogy az oszlop ott utána el tudjon haladni. ...Jelentős előrelépést jelent a konvojokat kísérő* ***pilóta nélküli repülőgépek*** *útvonal-felderítő feladattal való kiküldése, vagy az oszlop előtt haladó robotjárművek alkalmazása, amelyek, gyanús tárgy észlelése esetén jelzik azokat, a parancsnokok megállítják az oszlopot, műszaki eszközökkel átvizsgálják, megtisztítják a gyanús terepszakaszt és utána haladnak tovább"*. (kiemelés ezen írás szerzőjétől) [17]

A távirányított, ill. részben önműködő gépek alkalmazása általában megkönnyíti az emberek munkáját, veszélyes helyeken csökkentik a sérülések-halálesetek veszélyét. A kockázatok csökkentése érdekében az egyre több pilóta nélküli repülő eszköz mellett a **szárazföldi robotok – robotrendszerek** is terjedőben vannak. A távirányított **tűzszerész-robotok** alkalmazása mindennapos lett. Mellettük, főleg a védelem területén egyre több a teljesen önműködő **passzív érzékelő-, területfigyelő, ill. aktív elhárító rendszer**.

Immediate Cargo UAS[6]: Az amerikai tengerészgyalogság iniciatívájából a hagyományos logisztikai járműkonvojok szerepét legalább részben szeretnék **robot teherhordó helikopterek**kel átvenni. A kitűzött paraméterek: 4536 kg küszöbértékű (célérték 9072 kg) teheráru szállítása 24 órán belül, az oda-vissza táv 278 km. A gépek szállítási terhelésének küszöbértéke 340 kg (cél 454 kg), egy szabványos palettán elhelyezve: 1,22 x 1,02 és 1,7 m magasságig. Az elvárt követelmények között

[6] Immediate Cargo **U**nmanned **A**erial **S**ystem – azonnal (késlekedés nélkül, közvetlenül) szállító személyzet nélküli légi rendszer

szerepel a teljes terhelés melletti „függés” 3660 m magasságban, illetve a 4575 m fölött való átrepülés képessége. Az utazási sebesség min. 130 km/h, autonóm módon (GPS[7] segítségével), a horizonton túl is, éjjel-nappal, mostoha időjárási körülmények mellett is. A célpontban 10 m-es pontossággal kell földet érni.

8.,9. kép: A pályázati kiírás két esélyese (Boeing A160T Hummingbird; Kaman K-Max) [18,19]

Nagyobb tömegű és méretű darabok így nem szállíthatók, a gazdaságosságról nem is beszélve… Távlatilag számolni kell az UAV[8]-k elleni hatékony fegyverrendszerek megjelenésére is. A lomhább, védelem nélküli teherszállító forgószárnyas légi eszközök leküzdése nem lesz nehéz. *„Az izraeli védelmi minisztérium adatai alapján a Merkava harckocsi számára kifejlesztett automata célkövető rendszerrel rendelkező célzó berendezés segítségével… 5000 m-ről találtak el egy távirányított helikopter- modellt, aminek a mérete csak tizede a hagyományosénak.”* [20]

Talán nagyobb potenciál rejlik a holland gyártmányú **SPADES** rendszerben: *„… Ez a Smart Parafoil Autonomous Delivery System, vagyis egy önálló irányító rendszerrel felszerelt ejtőernyő, mely egytonnányi teheráru célba juttatásár alkalmas. A pontos leszállást GPS műholdas rendszer teszi lehetővé veszélyes, vagy nehezen megközelíthető terepre. A SPADES a kijelölt ponttól 50 m-es eltéréssel képes földet érni, így megoldható a saját erők ellátása vagy humanitárius segély célba juttatása. A repülőgépről nagyobb távolságra is ledobható, így nem szükséges berepülni a légvédelem által oltalmazott légtérbe.”* [21]

[7] GPS – **G**lobal **P**ositioning **S**ystem = globális helymeghatározó rendszer
[8] UAV – **U**nmanned **A**erial **V**ehicle = személyzet nélküli légi jármű

10.,11. kép: 34 kg szállít 1000 kg-t célba [22]

Saját meghajtással ugyan nem rendelkezik, de **siklás közben robot üzemmód**ban működik. A (kevésbé érzékeny) áru szállítása ugyan csak egyirányú, de az esetek többségében ez megfelel a szükségleteknek. Az újrahasználhatóság is több tízszeres, mindez a gazdaságosság szempontjából nagyon előnyös.

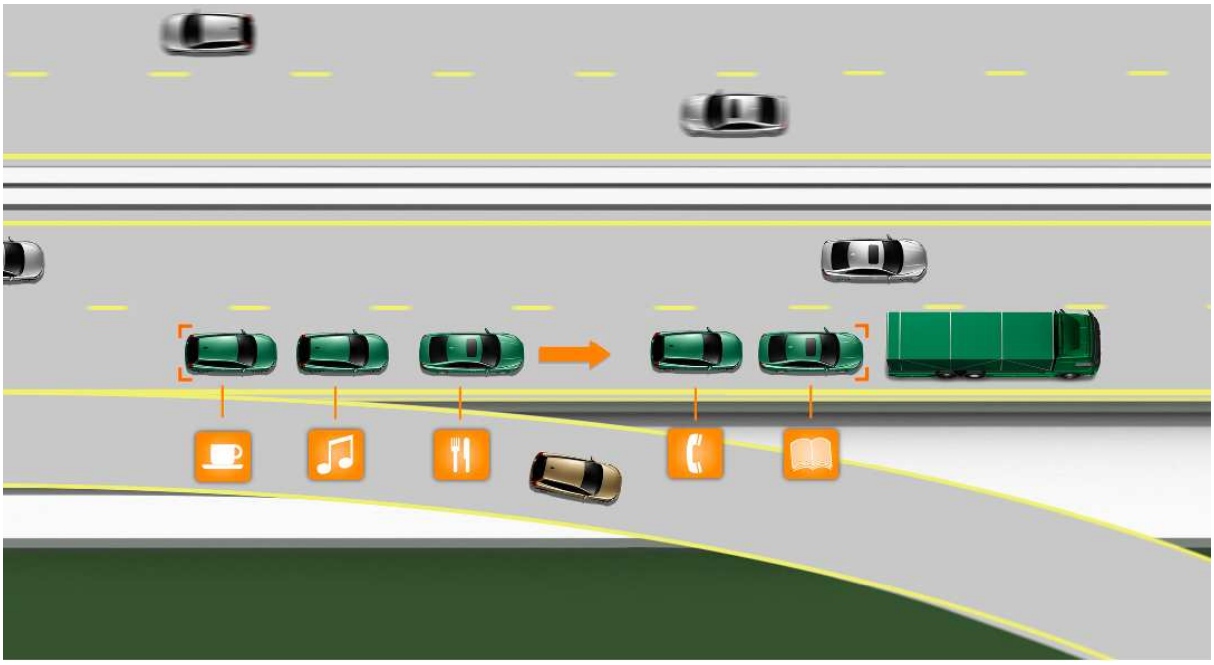
A szárazföldi robotok lehetséges logisztikai alkalmazásaira a következő fejezetekben térek ki.

4. ROBOTOK A KÖZÚTI FORGALOMBAN?

Autonóm szárazföldi járművek közúti forgalomban való engedélyeztetése az (ön-) vezérlés bonyolultsága, az állandóan, dinamikusan változó környezet valós idejű érzékelésének nehézsége, a közlekedésbiztonsági és pszichikai-etikai problémák miatt ma még gyakorlatilag lehetetlen. Úttörőnek számítanak a síneken közlekedő járművek: *„A világban már régebben működnek teljesen automatikus metró-vonalak pl. Kyotóban, Lillében, Párizsban, stb., de a nürnbergi az első, ahol egy vonalszakaszon együtt közlekednek a robot-, illetve a hagyományos, sofőrök által vezetett szerelvények."* [23]

A **SARTRE**[9] Európai Uniós kutatási projekt lényege: *„A menetoszlop élén haladó járművet hivatásos sofőr vezeti, amely lehet egy előre meghatározott útvonalat követő teherautó vagy autóbusz. A menetoszlopba csatlakozás után a többi autó vezetője más dolgokkal is foglalkozhat, például dolgozhat, olvashat, zenét hallgathat, filmet nézhet, telefonálhat, vagy egyszerűen csak pihenhet. Az autók navigációs rendszere kijelzi a közelben haladó menetoszlopokat, és azok úticélját. Menet közben további autók is csatlakozhatnak a konvojhoz. Bárki szabadon elhagyhatja menet közben a menetoszlopot, ilyenkor a távozó autó mögötti autó automatikusan felzárkózik a többiekhez, így megszüntetve a keletkezett rést."* [24]

[9] SARTRE – **SA**fe **R**oad **TR**ains for **E**nvironment ~ biztonságos közúti szerelvények a környezetvédelemért



12. kép: Automatikus vezetés [25]

Autópályán, ideális körülmények mellett mindez még jóval 100 km/h fölötti sebességeknél is kitűnően működhet, de elég egy kis hiba, előre nem látható fejlemény, és megtörténhet a baj! A balesetek okozójának egyértelmű kiderítése nehéz, ez még sokáig gátolhatja az önműködően történő, „felelőtlen" száguldást… Ameddig a robotizáláshoz (néha feleslegesen erőltetve) úgy állunk hozzá, hogy az emberi irányítást minél inkább gépek vegyék át, az etikai szempontok miatt – sokszor jogos – ellenállásba ütközünk. Ha viszont **elsőrendű célunk az emberéletek megmentése, illetve a súlyos sérülések arányának csökkentése**, akkor más a helyzet! *„Az aszimmetrikus hadviselésnél a gyakran háttérbe szoruló, de nagyon fontos szerepet betöltő, általában gyenge védelemmel ellátott logisztikai járművek hasonló veszélyeknek vannak kitéve, mint a harcjárművek. A logisztikai menetoszlopok összeállítása, az általában egyszerű, előre tervezett útvonal predesztinálja őket előbb a hibrid, majd idővel a teljesen robotizált járműoszlopok irányába."* [26] A katonák által szervezett és biztosított menetoszlopok mindig is különleges státusszal bírtak, itt, a járműoszlopba „keverten" már a közeljövőben is elképzelhetőnek tartom **logisztikai robotjárművek** megjelenését. Természetesen megkötésekkel – ezeket a következő fejezetben részletesen is kifejtem.

Az újonnan megjelent fenyegetettségek ellen is **hatékony védelem** érdekében, a katonákat-civileket szállító járművek teherhordó képességét gyakorlatilag teljesen felemészti a nehéz páncélzat. Jó példa erre az angol hadsereg Tactical Support Vehicle (Heavy) 2008 elején kiírt pályázata – egy új, nehéz taktikai támogató járműre. Ezt a Force Protection cég nyerte meg. A Cougar bázisán épült Wolfhound kitűnően védett jármű, hatalmas méretei mellett a rakodótere szinte eltörpül.

13. kép: MRAP[10] Wolfhound [27]

A MRAP kategóriájú, humán járművek nagy önsúly mellett csak kevés áru szállítására képesek, a teljes logisztikai ellátást (kizárólag) ilyen típusú járművekkel kiváltani lehetetlen. Viszont a menetoszlopba közbeiktatott, **„málhás" robotjárművek** (vezető kabin nélkül) védelme csak a szállított áru védelmének szükségességétől függ. A **valós méretű**, kezelő nélküli járművek beintegrálásának van igazi hozadéka: A vegyes menetoszlop tonnákban mért szállítóképességének gerincét tehát a jövőben robotjárművek adhatják. **Aránylag kis önsúly mellett nagy lehet a szállítóképesség** – és ami a leglényegesebb – emberéletek kockáztatása nélkül!

5. ROBOTJÁRMŰVEK A KONVOJOKBAN

Ebben a fejezetben elemzem a szárazföldi robotjárműveket az önállóságuknak fokozatai szerint.

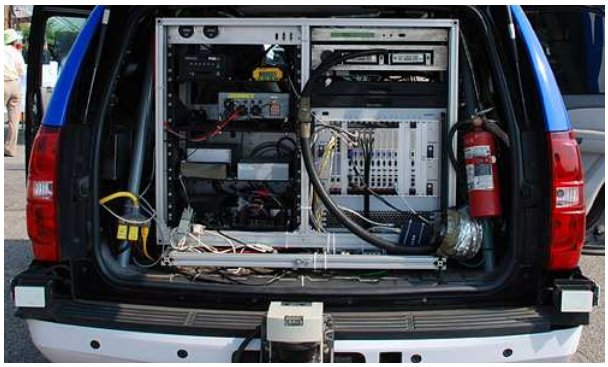
Az autonómia fokának növelése nem elsőrendű cél, mert nem eléggé kiforrott rendszerek mellett a biztonság csökken! A járműoszlopokban való haladás már eleve csökkenti az autonómia fokát, hiszen egymásra figyelemmel kell lenni, egymáshoz, illetve a konvoj környezetéhez is alkalmazkodni kell.

TELJESEN AUTONÓM JÁRMŰVEK:

A teljesen önműködően, A pontból B pontba küldhető katonai szárazföldi robotok tömeges bevetését még csak kivételes esetekben látom reálisnak. Például sík, nyílt területeken – ilyenek a sivatagok, félsivatagok, tundrák, szavannák.

[10] MRAP - **M**ine **R**esistant **A**mbush **P**rotected-Vehicle = aknáknak ellenálló, rajtaütés ellen védett

A rendszeresen megrendezésre kerülő Grand, ill. Urban Challenge [28] versenyeken az autonóm járművek tesztelése a cél. Egyre figyelemreméltóbb eredményeket érnek el, legutóbb szimulált városi forgalomban is (gyalogosok és kerékpárosok nélkül). A szükséges óriási számítási teljesítmények miatt a robotjárművek rakterét gyakorlatilag teljesen kitölti a vezérlő elektronika. Aktív külső jeleket nem kaphatnak, kivételt képeznek a helymeghatározó rendszerek adatai. Ez óriási segítség, sajnos hadi helyzetben ezek megléte, illetve használhatóságuk kérdéses. 2007-ben a verseny startját meg kellett ismételni. Egyes járművek (a későbbi győztesé is) GPS vevői „sztrájkoltak". Szenzorcserék, hosszas keresés, helycserék után jöttek rá, hogy egy nagy kivetítő volt a zavar forrása. Üzemen kívül helyezték, de biztonságból még a nézőket is megkérték, hogy a mobiltelefonjaikat kapcsolják ki, hogy ne zavarják a számítógépeket… [29]



14.,15. kép: a Carnegie Mellon egyetem győztes járműve [30]

A műholdas helymeghatározó rendszereket a szárazföldi katonai robotoknál inkább csak kiegészítő, informatív, segítő jelleggel lehet alkalmazni. Ennek leginkább a könnyű zavarhatóságuk az oka. Terepen az ún. **negatív akadályok** (szakadékok, gödrök, süppedős talajú mélyedések, vízfolyások) észlelése, illetve leküzdése még igen nagy kihívást jelentenek. A magyarországiakhoz hasonló terepviszonyok mellett inkább csak pár km-es távolságok (pl. nagy, mezőgazdaságilag művelt táblák) gyors leküzdésére lennének kiválóan alkalmasak az autonóm robotjárművek. A frontvonalak közötti „senki földjén" át, egymás helyzetét, illetve a taktikai prioritásokat, esetleges veszteségeket figyelembe véve rohammal foglalhatnák el az előre kijelölt új harcálláspontjaikat a **rajban tevékenykedő harci robotok**.

FÉLAUTONÓM (KÖVETŐ) JÁRMŰVEK:

Ez az üzemmód már sokkal közelebb van a menetoszlopok szükségleteihez.

Humán (emberi) követésnél is a követő járművek vezetői figyelik az előttük haladó járművet, az oszlopparancsnok utasításai, ill. a körülmények alapján választják meg (ill. változtatják) a követési távolságokat. Bizonyos szempontból a követő járművek vezetői könnyebb helyzetben vannak, például lehetőségük van az előttük haladó jármű esetleges vezetési, nyomvonal-választási hibáit korrigálni. Más szempontból az állandó figyelés nagyon monoton, fárasztó, a sofőrök hajlamosak a

„lemerevedésre”. Ilyen és hasonló esetekben az „emberi tényező” kiiktatása előnyös is lehet. Az elöl haladó járművek által felvert por is nagyon zavaró tud lenni.

Robot (gépi) követésnél a helyzet hasonló. A követő járművek az előttük haladót „kopírozhatják”, állandó (pl. rádió-) kapcsolaton keresztül akár a pontos menetparamétereiket is megkaphatják. Egyszerre gyorsíthatnak, lassíthatnak, fékezhetnek, a biztonságos követő távolságok sokkal kisebbek lehetnek – ezeket automatikusan, a sebességek és más paraméterek függvényében, valós időben korrigálhatják. Ilyen, „összekapcsolt” oszlopmenetnél a követő robotjárművek saját rendszereiket (érzékelőit, illetve számítástechnikai kapacitásaikat) teljes mértékben arra használhatják fel, hogy a nem várt események megoldására mindig készen legyenek.

Ha a közbeékelődött (idegen) járművek, zord időjárás, zavaró árnyékolások ellenfény, por, felvert sár, stb. miatt a követési távolságot növelni kell, egyre közelebb kerülnek egy teljesen autonóm robotjárműhöz, egyre kevésbé hagyatkozhatnak az előttük haladó (saját) jármű menet-adataira. Ha bármilyen okból kifolyólag az összeköttetés megszakad, illetve tilos a rádiók, nagy teljesítményű aktív radarok, lidar[11]-ok használata, és a passzív rendszerek hatóköréből kikerült a „vezető” jármű, akkor csak teljesen autonóm módban közlekedhet a robot. Vámossy Zoltán a *„Mobil robotok gépi látás alapú navigációja”* c. cikkében behatóan foglalkozik e témával. [31]

A félautomata robotjárművek biztonságos „átadása” – egyik követendő járműről a másikra – szintén egy megoldandó feladat. Egymás kölcsönös zavarása is problémákat okozhat.

TÁVIRÁNYÍTOTT VEZETŐ, ILL. KÖVETŐ JÁRMŰVEK:

Ha a jármű „csak” **távirányított**, akkor ugyan mindegyik járműhöz egy irányító szükséges, de a kísérőket így is megspóroljuk. Biztos összeköttetések garantálásával a kezelők a bevetéstől akár távolabb is tartózkodhatnak, a személyzet nélküli légi rendszerek **operátor**aihoz hasonlóan.

A robotjárművekkel szemben támasztandó járműbiztonsági, alkalmazástechnikai, harcászati követelményeket részletesen kifejtettem a *„Szárazföldi robottechnikai eszközök tervezésének és alkalmazásának biztonsági szempontjai”* [32] és *„A földi robottechnikai eszközök informatikai részegységeivel szemben támasztott speciális (terepi kivitelt igénylő) követelmények rendszerezése, elemzése”* [33] c. írásaimban.

A távirányítás csak addig marad ellenőrzött, és visszajelzett, ameddig biztos összeköttetéssel rendelkezünk. Ha kiesik a távirányítás, akkor a vezető jármű autonómmá, a követő járművek (ideális esetben) félautonómmá válnak! Kommunikáció- szétesés esetén a vészhelyzeti algoritmusok automatikus „felfutása”, pontos definiálásuk és ellenőrizhetőségük elengedhetetlen. A vezeték nélküli rádiós kapcsolatok – zavarhatók, felderíthetők, bizonyos esetekben kérdéses a használatuk. Ide kapcsolódó missziós megfigyelés: *„A levegőben keringő por zavart okozhat a rádió használatában.”* [34] Elég egy (létező) biztonságtechnikai előírás: *„Ne használjon rádiót, mobiltelefont 100 méteren belül attól a helytől, ahol az IED-t gyanítja!”* [35] és megbénul az oszlop!

[11] LIDAR - **L**ight **D**etection and **R**anging - fény érzékelés és távmérés

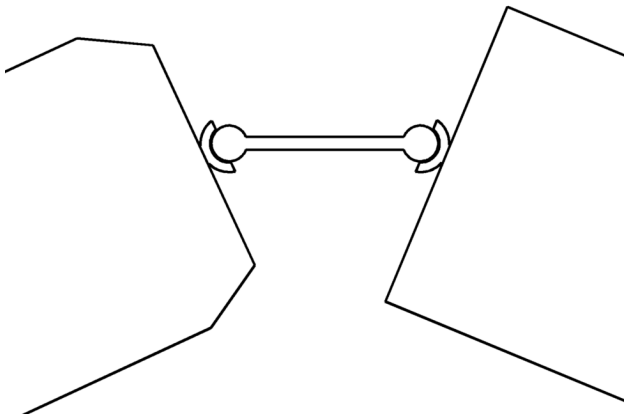
„ÖSSZEKAPCSOLT" KÖVETŐ JÁRMŰVEK:

Olyan követési mód, ahol a robotjármű pár m-es távolságban követi a „vezető" járművét, gyakorlatilag egy „szerelvényt" alkotva vele, ugyan **mechanikus kapcsolat nélkül**, de szinte kopírozva az első jármű menetparamétereit.

Biztonsági előírás: *„csökkentsük a járműveink közötti távközt is, úgy, hogy két járművünk közé ne tudjon beékelődni egy másik autó, de a biztonságos féktávolság megmaradjon"* [36] Ha kizárjuk más járművek közbeékelődését, a rádióösszeköttetés helyett **más összeköttetés**t is alkalmazhatunk. Elméletileg ez működhetne sokféle fizikai alapon (optikai, lézer, radar, ultrahangos, stb.), de a kis távolság miatti elkerülhetetlen masszív szennyeződések (por, sár, hó, jég, stb.) mindezt nagyon megnehezítenék. Elképzelhető egy állandó feszességgel tartott **kábelen keresztül**i (biztos) adatátvitel is. Nagyobb sebességeknél, terepen viszont a kábel elakadhat, elszakadhat. A szennyeződések miatt az összeköttetés (pl. állandó feszességet tartó csévéléssel) szintén problémás lenne. Ebben az esetben egyáltalán nem lenne kívánatos a két jármű közé történő más (pl. előző) járművek besorolása. Ha erre mégis szükség lenne, akkor a járművek közötti kapcsolat önműködő oldása után a járművek közötti távolság növelésével ezt a szituációt külön (addig védett „melegtartalék") érzékelő-, adatátviteli-, és döntési egységek aktiválásával, illetve humán személy bevonásával kellene megoldani.

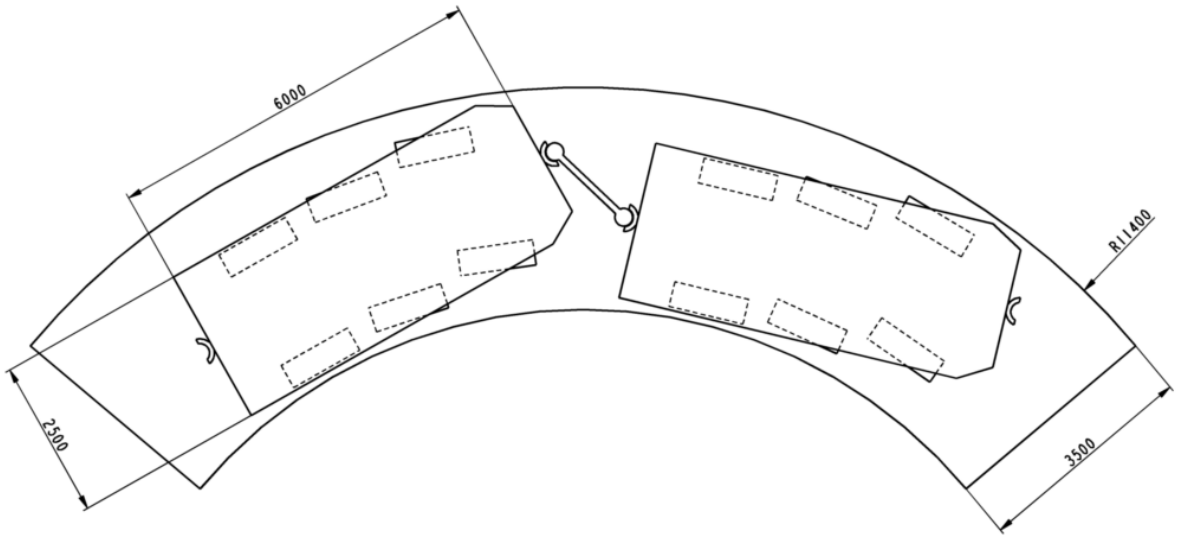
MECHANIKUSAN ÖSSZEKAPCSOLT KÖVETŐ JÁRMŰVEK:

Ha a kábelen keresztüli csatlakozást megtoldjuk egy mechanikus összekötetéssel is, létrehozhatunk egy valós, **már ma használható**, sok előnnyel bíró **rendszer**t. Első pillantásra úgy tűnhet, hogy egy nagy vargabetűt leírva, visszatértem a meghajtott tengelyű pótkocsikhoz, de ez nem így van! Ugyan léteznek modernebb kényszerkormányzásos rendszerek is, de a követés nem ideális, még két egybekapcsolt jármű esetében sem. Az általánosan alkalmazott egycsuklós helyett megvizsgáltam egy **kétcsuklós összeköttetés**t:



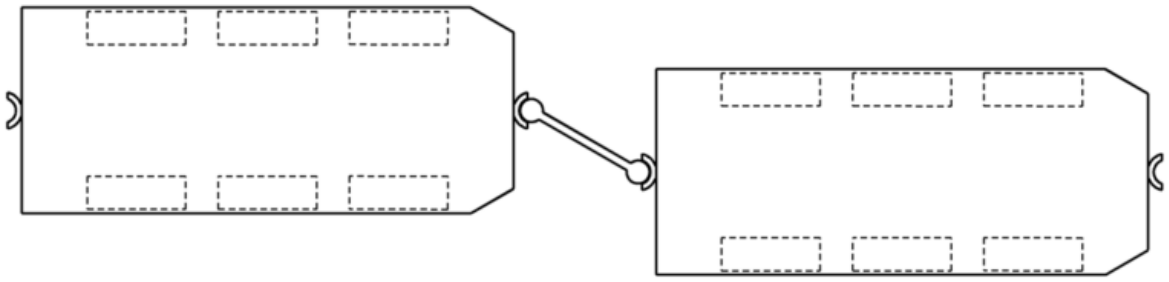
15. ábra: Kétcsuklós toló-vonórúd vázlata [Koleszár Béla]

A plusz egy kinematikai szabadsági fokozat miatt a követő járművek a vezető jármű érzékelői által szolgáltatott adatok, illetve a kölcsönös pozíciójuk ismeretében **tökéletesen követő nyomvonal**on képesek haladni. A szerelvények hossza nem korlátozott, mert az egyes járművek „kopírozzák" a legelső nyomvonalát, menetparamétereit, tehát nem „vágják le a kanyarokat".



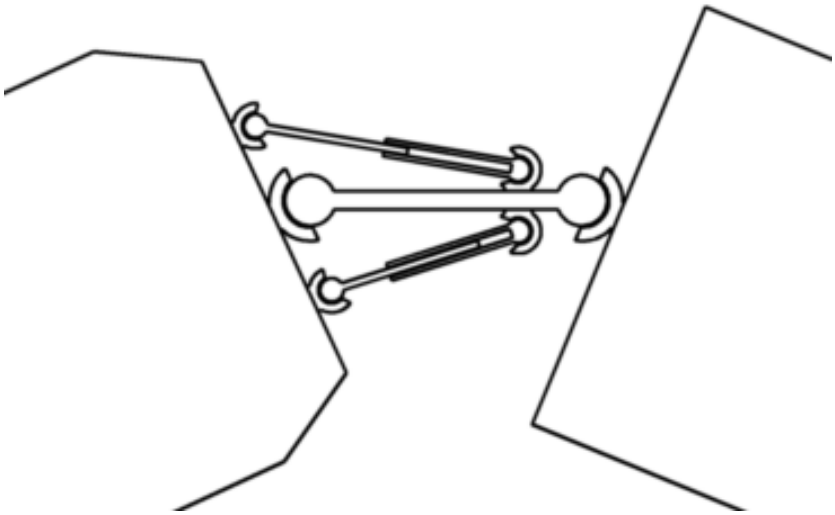
16. ábra: Szűk kanyarvétel vázlata [Koleszár Béla]

Egyenes haladásnál egy-két nyomvonalnyival eltolt farkasfog alakzatban is lehet haladni, ha ez a talaj hordképességének szempontjából előnyösebb.



17. ábra: Eltolt farkasfog alakzat vázlata [Koleszár Béla]

Mivel mindegyik jármű meghajtott és kormányzott, a közöttük fellépő erők minimálisak. Egymás gátlása helyett egymást segíthetik Ha a kétcsuklós összeköttetés mellett, ellátjuk őket a csuklókormányzású járművekhez hasonló hidraulikus hengerekkel is, akkor szükség esetén ez a segítség nagyon hatékony lehet.



18. ábra: Kétcsuklós toló-vonórúd munkahengerekkel [Koleszár Béla]

Ez nem a kormányzást segíti! Az előírásokban megkövetelt kényszerkormányzás teljesen elektronikus úton történik, mindkét jármű a megfelelő helyeken érzékelőkkel van ellátva, a követő jármű kormányszögeit számítógép vezérli. Az általam javasolt rendszer a jelenleg érvényben lévő szabványoknak ugyan nem teljesen felel meg, de a megmaradt mechanikus összeköttetés és a kábelen keresztüli kölcsönös, zavarmentes, valós idejű kommunikáció biztonságossá teszi. Ez a szó szerint is „áthidaló megoldás” segíthet a robotjárművek gyorsabb térnyerésének.

A munkahengerek csak szükség esetén vannak üzemben, a normál állapotuk nyomás nélküli. Nehéz terepen, akadály leküzdésekor, kiesett motornál, meghibásodott, sérült hajtásnál az egyik jármű húzhatja/tolhatja a másikat. A „bebicskázást” megakadályozandó a tolóerő mellett jelentős keresztirányú erőket is át tudunk adni, ez elakadásnál-mentésnél is előnyös. Ha a horizontális sík mellett a vertikálisban is beépítünk munkahengereket, akkor ezekkel javíthatjuk az akadályleküzdő- és áthidaló képességet, főleg a legelterjedtebb, 4x4- es járműveknél. Ha csak a szerelvény egyik tagja akad el, a többi hatékonyan tudja segíteni. Ráadásul néhány egyszerű szenzor beépítésével az automatikus összekapcsolódás is lehetővé válik.

6. SZÁRAZFÖLDI ROBOTJÁRMŰ-PLATFORMOK

Katonai járművek tervezőjeként [37] a „kevert” (humán és robot) járműalkalmazásokkal látok kiutat a **fenyegetettség => védelem => súly – fejlesztési zsákutcá**ból… Már a közeljövőben szükségünk lesz különböző hord- ill. terepjáró képességű, 4x4, 6x6, 8x8-as hajtású speciális jármű-alépítményekre, amelyek ezt lehetővé teszik. Teljesen elektronikusan vezérelt kormányzással, fékezéssel, motorvezérléssel, hajtással, differenciálzárakkal, érzékelőkkel, jeladókkal stb., a menetparaméterek visszajelzésével.

Ballisztikus alapvédelemre a járműplatformoknak is szükségük van, hogy legalább a kézi lőfegyverek és gyalogsági aknák ellen védettek legyenek. Bármilyen szabadsági (önrendelkezési/önállósági) fokkal is rendelkezzenek a szárazföldi robotok, az leszögezhetjük, hogy a bázisjármű kivitelezése változatlan maradhat! A csereszabatos robothordozókra kerülő felépítmények szükség szerint alkalmazhatók. Lehetnek személy- (különböző védelmi szintű „kapszulákkal"), ill. áruszállítók (pl. plató, konténer, tartály, stb.), fegyverhordozók… A szenzor-egységek, illetve más berendezések (pl. csörlő, passzív és aktív védelmi rendszerek) „Baukasten" **modul- rendszer**ű egységeket alkotnak, amelyekkel szükség szerint lehet ellátni az egyes járműveket. Cseréjük egyszerű, így a hadrafoghatósági, megbízhatósági mutatókat jól kézben lehet tartani. Az integrált önellenőrző programok is ezt a célt szolgálják. Megkülönböztetett figyelmet kell fordítani a járművek közötti információáramlás biztonságára (többszörös jelátvitel, hibajavítás), az egymás, ill. külső zavarás elleni védelmére, nehéz felderíthetőségére (pl. szórt spektrumú rádiójelekkel). Az alap-járművek technikai, szerkezeti, rendszertechnikai felépítésének kidolgozásával komoly lépést tehetünk a jövőbeni célunk, a teljesen autonóm szárazföldi robot-konvojok irányába. Ezzel párhuzamosan, **számítógépes szimulációk**kal, a vegyes konvojok közlekedésének modellezésével sok hibára fényt deríthetünk, ill., még „virtuálisan" kiküszöbölhetjük őket. A már létező, **konvoj- és járőröző műveletek - tanulóprogram**ok [38] kibővítésével és tesztelésével ez nem is lenne olyan költséges. A valósághű környezetben, a missziókat jelenleg fenyegető veszélyek „bejátszásával", a forgalom modellezésével, az oszlopmenetek szabályainak betartásával lehetne a potenciális problémákat kiszűrni, a hibalehetőségeket minimalizálni.

A robotjárművek nem mindig oszlopban haladnak. Vasúti, légi szállításnál, rakodásnál, táboron belüli mozgásnál, tankolásnál, szervizelésnél, ellenőrzésnél, karbantartásnál, mosásnál, az egyes járművek önállósága, távirányíthatósága előnyt jelent. Még tolatásnál is biztonságosabb lehet, ha felügyelő személy a lehető legideálisabb helyről saját maga irányít, nem pedig „mutogat".

A ma beszerzésre kerülő járművek valószínűleg több évtizedig lesznek szolgálatban. Ez idő alatt az elektronika, a számítás- és vezérléstechnika további **„robbanásszerű" fejlődés**e várhatóan lehetővé teszi majd a járművek (rész-) autonóm módban való üzemeltetését. Tehát már most úgy kell megterveznünk a járművek „klasszikus" részegységeit, hogy erre képesek legyenek. A követő járműveknek minden információ hasznos, ami a követendő járműtől, ill. a még előtte lévőktől is származik. Ez nem csak a robotjárművekre érvényes! Még a hagyományos (meglévő) járműveket is lehetőség szerint át kell alakítani – divatos szóval **intelligens járművek**ké. Csak így lehet az új fejlesztésű **aktív biztonságtechnikai rendszerek**et alkalmazni, ezekkel a vezetőt segíteni

A konvojokba sorolt **robotjárművek „önvédelmé**vel" is kell foglakozni, hogy lehetőleg nem halálos eszközökkel a hívatlan személyeket szükség esetén biztosan távol tarthassák maguktól.

Később a vegyes konvojok működtetéséből szerzett tapasztalatokat fel lehet használni más járművek esetében is. Akár mindegyik harcjármű rendelkezhet egy (több) málha-robotjárművel. Ezek

különböző hasznos terhek, a legkülönbözőbb fegyverrendszerek hordozóiként, árnyékként követik őket, várva az esetleges bevetésükre. Szükség esetén, tömegüknél fogva akár védő-fedezékként is használhatók. Még ezek, a fegyverhordozókként szolgáló „szolga-robotok" is csak előfutárai lennének a jövőbeni, teljesen önállóan közlekedni-, cselekedni-, harcolni képes harctéri szárazföldi robotjárműveknek.

7. ÖSSZEGZÉS, KÖVETKEZTETÉSEK

A kutatási témám *(Földi robottechnikai eszközök konstrukciós és alkalmazási kérdései, különös tekintettel a békefenntartó missziók biztonságának növelésére)* egyik sarkalatos pontja a logisztikai oszlopmenetek robotjárművekkel való bővítésének a vizsgálata. Eredeti célom az volt, hogy a missziós konvojokban a robotjárművek már ma autonóm- félautonóm módban közlekedhessenek. Be kellett látnom, hogy ez csak komoly jármű- és közlekedésbiztonsági vizsgálatok, tesztek, törvényhozási jóváhagyások után lesz megvalósítható. Az általam felvázolt: **autonóm módon közlekedő, de mechanikus kényszerkapcsolattal rendelkező robotjárművek** előfutárai és tesztelői lehetnek e folyamatnak.

Meg kell változtatnunk a járműoszlopokról eddig alkotott elképzeléseinket. A missziók oszlopmeneteinek vegyes összeállításai ugyanolyan szállítási teljesítmények mellett jelentősen csökkenthetik a veszteségeket. Sajnos még a vasúti közlekedésben sem használjuk ki teljes mértékben az **automatizálás**, illetve ezen túllépve az **autonomizálás** adta lehetőségeket a költségek csökkentése, a biztonság növelése érdekében... Cél: az egyes feladatok, tevékenységek ellátásához (pl. szállításhoz) **szükséges élőerő** számának **minimalizálása**.

Befejezésként, Papp Gyulát idézve: *„Tudomásul kell venni tehát, hogy a biztonság sem ma, sem pedig holnap nem garantálható a tegnap haderejével és elképzeléseivel."* [39]

HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE[12]

[1] Papp Gyula: A magyar honvédség békefenntartó műveletekre kijelölt alegységeinek felkészítése, PhD értekezése, Budapest 2008; p 40 http://193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/phd/2008/papp_gyula.pdf
[2] Koleszár Béla: A Szárazföldi harcjárművek és robotjárművek védelme a rögtönzött robbanóeszközök ellen; Hadmérnök III. Évf. 1. szám 2008. március http://hadmernok.hu/archivum/2008/1/2008_1_koleszar.pdf
[3] Adatközlő: Kolesár Éva, Makranc (Mokrance), Szlovákia
[4] Čo znamenal august '68 pre Rožňavu… Mit jelentett 68' Rozsnyónak. http://www.inforoznava.sk/infoservis/co-znamenal-august-68-pre-roznavu
[5] Kép forrása: http://www.kisalfold.hu/1956_keresztes_lovagja/cikk/208/2074811/3.jpg
[6] Sohajda Béla: Menetoszlopok átlagsebességének növelése; p.1 http://www.haditechnika.hu/Archivum/197302/730204.htm
[7] Missziós Alapismeretek Kézikönyv külszolgálatot teljesítő katonák számára, Budapest 2009; p 33, 20, 39 http://www.hm.gov.hu/files/9/7108/mh_ckelmk_misszios_kezikonyv_2009.pdf
[8] Kép forrása: http://media.novinky.cz/783/137832-original-n3yih.jpg
[9] Kép forrása: Cégprospektus: „Two-in-One" SISU-WERKE OY SUOMEN AUTOTEOLLISUUS AB, Finnland, Helsinki Fleminginkatu 27
[10] Dan Löffler: BV 206 Hägglunds http://www.danmil.de/53501.html

[12] Az internetes hivatkozások esetében a 2010. március 15-i állapot van megadva

[11] Kép forrása: http://3.bp.blogspot.com/_Le4lO1ScDSQ/SW9Gc_iWuUI/AAAAAAAADF4/l9NvQXl07Po/s400/bv206s.jpg
[12] Kép forrása: http://www.danmil.de/53501.html
[13] http://hu.wikipedia.org/wiki/RPG%E2%80%937
[14] Nényei Judit: Békefenntartók Zrt? Kül-Világ, a nemzetközi kapcsolatok folyóirata 2009/4, pp. 33-34 http://www.freeweb.hu/kul-vilag/2009/04/nenyei.pdf
[15] Besenyő János: Polgári cégek alkalmazása katonai műveletek logisztikai támogatása során különös tekintettel a biztonság kérdéseire; p 104 http://www.hm.gov.hu/files/9/8723/a_polgari_cegek_alkalmazasa_katonai_muv_log_-besenyo_j.pdf
[16] Képek forrása: First Lieutenant Mary K. Blanchfield: Transportation Challenges in Afghanistan http://www.almc.army.mil/alog/issues/MarApr05/afgan.html
[17] Ványa László: Objektumok védelmében alkalmazható technikai eszközök, p 109,110 http://www.zmne.hu/dokisk/hadtud/terror/lekt_Vanya_Laszlo%5B1%5D.pdf
[18] Kép forrása: http://www.sflorg.com/aviation/images/imav031606_01_01.jpg
[19] Kép forrása: http://3.bp.blogspot.com/_En-sxfOkXP8/SyB8k4aFJWI/AAAAAAAAEL4/ImHasf9UVo4/s400/Marines+UAV.bmp
[20] Michal Zdobinský: Nejmodernější tanky v boji (A legmodernebb tankok harc közben) ATM 12/2009 ISSN 1802-4823 p 29
[21] Regiment; Kiadó: Regiment Militaria Kft. 2010/1 ISSN 1 786-5697; p 7
[22] Képek forrása: http://www.dutchspace.nl/pages/business/content.asp?id=187
[23] Koleszár Béla: A földi robottechnikai eszközök informatikai részegységeivel szemben támasztott speciális (terepi kivitelt igénylő) követelmények rendszerezése, elemzése; Hadmérnök, IV. Évf. 4. szám 2009. december; p 392 http://hadmernok.hu/2009_2_koleszar.php
[24] Dr. Oláh Ferenc: Automatikus vezetés, automatikus autópályák (Forrás: Steven Ashley. Smart cars and automated highways (Mechanical engineering, 2009. május) http://www.integratorforum.hu/hk-mainmenu-19/authnika-leftmenu-72/1961-automatikus-vezetes-automatikus-autopalyak.html
[25] Kép forrása: http://www.ricardo.com/Global/IA/News/Press%20Release%20Listing%20images/2009%20download%20images/SARTRE-launch/SARTRE%20-%20road%20trains%20explained%205%20of%205.jpg
[26] Koleszár Béla: A földi robottechnikai eszközök informatikai részegységeivel szemben támasztott speciális (terepi kivitelt igénylő) követelmények rendszerezése, elemzése; Hadmérnök, IV. Évf. 4. szám 2009. december; http://hadmernok.hu/2009_2_koleszar.php p 393
[27] Kép forrása: http://www.defenseindustrydaily.com/images/LAND_Cougar_Wolfhound_6x6_Flatbed_lg.jpg
[28] DARPA Urban Challenge; http://www.darpa.mil/grandchallenge/index.asp
[29] Maria Brandl: Hälfte des Weges; Kurier, 2007. 11. 09
[30] Képek forrása: http://paulstamatiou.com/cmu-tartan-racing-wins-darpa-urban-challenge
[31] Vámossy Zoltán: Mobil robotok gépi látás alapú navigációja; Hadmérnök, IV. Évf. 4. szám 2009. december; http://hadmernok.hu/2009_4_vamossy.pdf
[32] Koleszár Béla: Szárazföldi robottechnikai eszközök tervezésének és alkalmazásának biztonsági szempontjai; Hadmérnök, IV. Évf. 2. szám 2009. június; http://hadmernok.hu/2009_2_koleszar.pdf
[33]] Koleszár Béla: A földi robottechnikai eszközök informatikai részegységeivel szemben támasztott speciális (terepi kivitelt igénylő) követelmények rendszerezése, elemzése; Hadmérnök, IV. Évf. 4. szám 2009. december; http://hadmernok.hu/2009_4_koleszar1.php
[34] Missziós Alapismeretek Kézikönyv külszolgálatot teljesítő katonák számára, Budapest 2009 p 32 http://www.hm.gov.hu/files/9/7108/mh_ckelmk_misszios_kezikonyv_2009.pdf
[35] u.o. p 80
[36] u.o. p 21
[37] General Dynamics European Land Systems Steyr-SSF; http://www.steyr-ssf.com/
[38] Ian Strachan: Training for Convoy and Patrol Operations (The IED, Sniper and Insurgency Threats) Military Technology 5/2009; pp 72-78; Mönch Publishing Group, Bonn ISSN 0722-3226
[39] Papp Gyula: A magyar honvédség békefenntartó műveletekre kijelölt alegységeinek felkészítése, PhD értekezése, Budapest 2008; p 39 http://193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/phd/2008/papp_gyula.pdf

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. habil. Krajnc Zoltán - Dr. Berkovics Gábor - Gönczi Gabriella

DOKTRINÁLIS VITÁK AZ AMERIKAI EGYESÜLT ÁLLAMOKBAN A LÉGIERŐ ÉS A LÉGI HADVISELÉS ELVEIRŐL (A KEZDETEKTŐL A HIDEGHÁBORÚIG)

BEVEZETÉS

A légi hadviselés – már számottevő, akár a végső győzelmet is befolyásoló mértékben való – megjelenése alapvetően az I. világháború utáni időszakra datálható. E hadviselés elmélete és gyakorlata attól kezdve egy rendkívül gyorsan fejlődő, változó folyamattá vált, amely meghatározó jelentőségű volt és lesz a fegyveres konfliktusokban, s amely tart napjainkban is. A legtöbb kutató és hadtörténész általános véleménye szerint, a katonai repülés hőskora, nem egy tervszerű koncepció eredményeként jelentkezett, hanem *„csak a technikailag adódó lehetőségek gyors felismerése és ad-hoc jellegű alkalmazásaként”* volt értelmezhető.

A katonai célra is alkalmazható repülőgép, mint potenciális fegyver-rendszer megjelenése hasonló pályát futott be, mint más újszerű fegyver a hadtörténelem során. A repülőeszköz hadrendbe állítása megkövetelte a szervezeti és az alkalmazási (harcászati) modernizációt egyaránt. Az alkalmazási koncepciók és az azt megvalósító szervezet, továbbá a folyamatosan fejlődő, rendszerbe állított fegyver-rendszerek kölcsönös egymásrahatása következtében az egész rendszer állandóan mozgásban volt és van, amely mindig kitermelt és kitermel egy uralkodó paradigmát, ami alapvetően determinálja a teljes rendszert.

A légierő szerepéről illetve a légierő, légi hadviselés jelentőségéről folytatott viták az összhaderőnemi stratégia és hadműveleti alkalmazás szempontjából különböző, máig ható elméletek és koncepciók, iskolák kialakulásához vezettek.

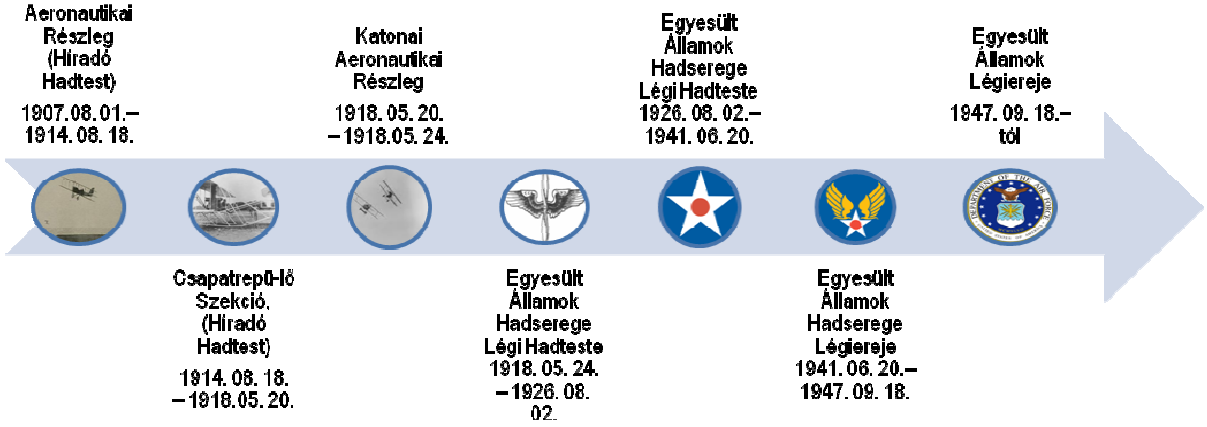
Összegezve és egy kissé leegyszerűsítve az alábbi négy gondolkodásmód jellemezte az idők folyamán a légi hadviselés- illetve a légierők szerepét elemző teóriákat:

- A légierő elsősorban stratégiai jellegű és jelentőségű erő, döntő szerepe van a háborúk végkimenetelét illetően és ezért egyfajta *„felsőbbrendű haderőnemként”* illeszkedik a fegyveres erők rendszerébe.
- A légierő, a haderő többi komponensével egyenrangú, esetenként önállóan is működő, vagy a fő feladatot végrehajtó szárazföldi-, vagy haditengerészeti haderőnem támogatását is végrehajthatja azok sikeres műveleteinek érdekében.
- A légierő alapvetően a szárazföldi- és a haditengerészeti erők támogatására, kiszolgálására szerveződik és tevékenysége szerves részét képezi azok hadműveleteinek.

– A légierő, a háború végkimenetele szempontjából, legyen stratégiai jelentőségű, azonban a háború folyamán, annak megfelelő időszakaiban támogassa a másik két haderőnemet és tevékenysége (légi hadjáratok, műveletek) integrálható legyen a felszíni műveletekkel káros interferenciák nélkül, ideális esetben hatékonyságnövelő szinergiát feltételezve.

A tanulmány megírásának motivációját, a témaválasztás indoklását úgy foglalhatnánk össze, hogy szerettünk volna egy olyan integratív, összegző tanulmányt írni, amely egyszerre tekinti át a légi hadviselés doktrinális iskoláit, az ún. *„doktrína-vitákat”* és az uralkodó paradigmákat a katonai repülés kezdetétől a napjaink elméletéteire és gyakorlatára is hatást gyakorló hidegháborús időszak kezdetéig. Szeretnénk leszögezni, hogy nem hadtörténészi megközelítésű dolgozatot szerettünk volna írni, hanem az alkalmazás elmélete és gyakorlata fejlődéstörténetét kívántuk összegezni olyan számvetéssel, hogy a mai folyamatokra gyakorolt hatások is kimutathatóak legyenek.

A cikk az Egyesült Államokbeli vitákra és koncepciókra fókuszál, amit az is indokol, hogy a mai



1. sz. ábra Az Egyesült Államok Légierő szervezetének fejlődéstörténete

elméletek és a szövetséges doktrínákban rögzített, a gyakorlati alkalmazást determináló, alapelveket is alapvetően az amerikai nézetekből vezethetjük le.

1. A LÉGI HADVISELÉSSEL KAPCSOLATOS EURÓPAI DOKTRINÁLIS VITÁK

A légierő modern elméletének, gyakorlati alkalmazásának *„apostola”*, az olasz származású Giulio Douhet tábornok sok vitát indukált a két világháború között a *„korlátlan légiháború elméleté”*-vel. Gyakran idézték – sokszor rosszul – ,s még gyakrabban támadták, általában alaptalanul. Elmélete, tézisei sok szempontból igazolhatóak voltak, ám ugyancsak sok szempontból ellentmondásba kerültek a világháborús, s a korabeli helyi háborús tapasztalatokkal.

LORD TEDDER, 1942-ben, a Britek El Alameini győzelme után, alkotta meg a légi hadviselésre, a légi erőre vonatkozó, tíz pontban megfogalmazott elveit, amely szintén az önálló légierő koncepciójára épült. Ezen elvek képezték az alapját az 1943-as casablancai konferenciának, ahol megalapozták a szövetségesek további légi doktrínáját.

Tedder légi marsall nézetei szerint:

1. A légierőnek függetlennek kell lennie a szárazföldi és a haditengerészeti erőktől.
2. A légierő és a szárazföldi parancsnokságoknak egymás „szomszédságában" kívánatos településiük, amellyel jelentősen könnyebbé válik a koordináció és a híradás.
3. A minden „éjjel" tartandó összhaderőnemi törzsértekezleten lehet kiküszöbölni a haderőnemek közötti káros interferenciákat, megalapozni a másnapi döntéseket, és integrálni a közvetlen légi támogatás és a légi lefogás műveleteit a szárazföldi parancsnok átfogó műveleti koncepciójába.
4. A radar nagyon fontos eszköz a légierő és a szárazföldi csapatok számára egyaránt, mert hatékony alkalmazásával kizárható az ellenség váratlan légi támadása.
5. A harcászati repülőgép a légierő alapvető fegyverrendszere, amelyet a következő légi küldetésekben alkalmazhatnak:
   – Légtér megtisztítása az ellenségtől.
   – Könnyű és közepes bombázó bevetések.
   – Az ellenséges légi hadviselési eszközeinek elfogása.
   – Közvetlen légi támogatás a szárazföldi erők támogatására.
6. Permanens híradást szükséges biztosítani a légierő főparancsnokság és a végrehajtó egységek parancsnokai között.
7. A légierő egyes elemeit célszerű a frontvonal közelében elől települt légi irányítópontról vezetni.
8. A légierő parancsnoki láncának egyszerűnek kell lennie, amelyben a légierő főparancsnokának jelentők számát korlátozni szükséges. (Az észak-afrikai hadjáratban Lord Teddernek csak hat személy jelentett közvetlenül, így nem kellett foglalkoznia viszonylag „lényegtelen" dolgokkal.)
9. A hírszerzés, felderítés nagyon fontos szerepet játszik a légi és földi hadjárat sikerében egyaránt. Az információáramlásnak folyamatosságát biztosítani szükséges, és a műveleti tervezőknek és a felderítő részlegnek szorosan együtt kell működnie.

(Lord Tedder. A brit légierő marsallja. Az első világháború alatt Franciaországban szolgált. 1941-43-ban a közel-keleti brit légierő parancsnoka. 1943-44-ben a Földközi-tenger térségében szintén ezt a tisztséget látta el, ő hangolta össze a szicíliai és az olaszországi partraszállás során a szárazföldi és a légi hadműveleteket. 1944-ben a normandiai invázió idején Eisenhower helyettese, az ellenséges utánpótlási útvonalak megsemmisítéséért felelt.) Később a szövetséges légierő hadműveleteinek koordinátora, a stratégiai hadmozdulatok irányítója. 1945. május 8-án a német kapitulációs okmány egyik aláírója. A háború után főnemesi címet kapott, és légi főmarsallnak nevezték ki.

Az azonban kétségtelen, hogy a harmadik dimenzió hadszíntérré válása szinte mérhetetlenül megnövelte a kezdetleges, majd egyre modernebb repülőerők, majd légierők szerepét a hadviselésben. A fejlődési trendek a *„Nagy Háborúban"*, majd a század húszas, harmincas éveiben egyértelműen a légierő önálló haderőnemmé válása irányába mutattak. Azonban a kizárólagosan a levegőből történő győzelem elmélete nem tudott meggyökerezni egyetlen hadseregben sem.[1] A különböző nagy- és középhatalmak a repülő erőik helyét, szerepét, súlyát egy lehetséges háborúban, általában a földrajzi, politikai környezetükből és az anyagi lehetőségeikből vezették le.

Így a kontinentális Európában általában igen nagy szerepet kapott az úgynevezett csapatrepülők, a szárazföldi erők támogatására tervezett szervezetek fejlesztése.

Anglia azonban már jóval nagyobb figyelmet fordított a közép és nagy hatótávolságú bombázó erők megteremtésére, mivel egy eljövendő konfliktusban nem igazán terveztek erőteljes, meghatározó szárazföldi műveleteket. A vadászrepülő erők fejlesztését azonban ők is kiemelt területnek tekintették, hiszen az első világháborús tapasztalatok, mint például London bombázása, még erősen hatottak.

Az európai kis- és közepes nagyságú országok eleve nem törekedhettek túl erős és modern légi flotta kiépítésére. Erre sem forrásaik, sem technikai, technológiai hátterük – Csehszlovákiát leszámítva – nem volt. Így elsősorban felderítő és vadászrepülő ún. *„repülőnemeket"* alakítottak ki, általában

[1] Amúgy Douhet sem ezt állította.

néhány bombázó századdal kiegészítve.[2] A két világháború között a légvédelem fejlődése ugyan megtorpant, de a repülőgépek fejlesztése folyamatos maradt.

A szélsőséges nézetek mellett a légierő fejlesztésében négy alapvető koncepció alakult ki, főleg az I. világháború tapasztalatai alapján:

- Angliában a vadászrepülő és a hadászati-hadműveleti bombázó csapatokat fejlesztették (jellemző képviselője, szellemi atyja *Hugh Trenchard* vezérőrnagy[3]).
- Németországban a vadászrepülő, a vadászbombázó (zuhanóbombázó) és a könnyűbombázó csapatok fejlesztése került az előtérbe (*Ernst Brandenburg* százados).
- A Szovjetunióban közbenső megoldást választottak, amikor a légierőt a szárazföldi csapatok támogatására fejlesztették ki (vadászrepülők, bombázók, csatarepülők).
- Különleges, bár teljesen logikus utat követtek Japánban, ahol a haditengerészeti légierő fejlesztésére helyezték a fő hangsúlyt (*Iszokoru Yamamoto* altengernagy).[4]

Összességében az egyes fejlesztési stratégiának volt egy közös vonása, ez pedig a vadászrepülők és a könnyű/közepes bombázók fejlesztésében valósult meg.

Az első repülés: 1903. december 17.
(*forrás:wikipedia.com*)

2. DOKTRINÁLIS VITÁK, LÉGI HADVISELÉSI ELMÉLETEK FEJLŐDÉSE AZ EGYESÜLT ÁLLAMOKBAN A II. VILÁGHÁBORÚ VÉGÉIG

A légi hadviselés stratégiai kérdéseit illetően, Angliához hasonlóan, az Egyesült Államok szintén meglehetősen egyedi utat követett. Másképpen az Egyesült Államok légi hadviselési doktrinális vitái alapjaiban mások voltak, mint az európai országokban, hiszen egy óceánt átölelő háborút kellett szem

[2] Könnyű és nehéz, nappali és éjjeli típusokkal.

[3] TRENCHARD, Hugh Montague (1873-1956), a Királyi Légierő (*Royal Air Force*) első vezérkari főnöke (1918-1929) Elmélete olvasható: *"The Effect of the Rise of Air Power on War,"* in Air Power: Three Papers (London: Air Ministry, Directorate of Staff Duties, 1946),

[4] Egységes koncepcióval tulajdonképpen csak Douhet jelentkezett, ami azóta is jellemzi a légi hadviselési teóriákat. Teljes körű: a szervezetet, az eljárásokat, a doktrinális elveket egységes egészként kezelő elméletek gyakorlatilag nem találhatóak, a nézetek csak egyes elemeket tekintenek a vizsgálódásuk tárgyának. (pl. a célpontkiválasztás elmélete („*targeting"*), a pszichológiai hatások és a légi hadviselés kapcsolatrendszere, a műveleti tervezés alapelvei, paradigmái, stb.) (szerzők)

előtt tartaniuk, amely miatt a fókuszban főleg a stratégiai (távolsági, hadászati) bombázók alkalmazása állt, valamint az expedíciós jellegű összhaderőnemi képességeknek voltak alárendeltek.

Egy rosszmájú értékelés szerint a két világháború között az amerikai légierő egy komolyabb hollywoodi háborús film megrendezéséhez is elégtelen volt. Persze ez a harmincas évek végén, negyvenes évek elején alapjaiban megváltozott. Lassan a politikusok is felfogták, hogy az izolacionizmus sem tartható fent erős fegyveres erők, benne a légierő nélkül, a nemzetközi szerepvállalás pedig még kevésbé.

W. *"Billy"* Mitchell
(*forrás:wikipedia.com*)

Az Amerikai Egyesült Államok ebben az időszakban még nem feltétlenül a kiemelkedő kutatási tevékenységéről volt híres, viszont már a XIX. században és a XX. század elején is nagyon erős innovatív és adaptív képességekről tett tanúbizonyságot. Kétségtelen, hogy a kísérletező, vállalkozó kedv nem hiányzott sem az állami, sem az egyének szintjén.

Nem véletlen tehát, hogy a *Millvilleben* (Indiana) született Wilbur Wright és testvére a *Daytonban* (Ohio) született Orville Wright kiemelkedő szerepet játszottak a motoros repülés történetében. 1903. december 17-én *Kiely Hawk*-ban (ma Kitty Hawk, Carolina) egy levegőnél nehezebb repülő szerkezet emelkedett fel a földről és 59 másodperc alatt 260 méter távolságot tett meg. Ezzel az eseménnyel a Wright fivérek új korszakot nyitottak a repülés történetében, amely a repüléstechnika azóta is tartó hihetetlen fejlődését eredményezte.

Az amerikai adaptív képességekre jellemző, hogy az orosz származású *Alexander Prokofjev de Seversky*[5] az államokban fejezte be a légi utántöltés elméletének kidolgozását, s az első sikeres légi utántöltésre is itt került sor, 1921. november 12-én. A racionális amerikaiak a két világháború között sokáig gyakorlatilag a semminél alig többet fordítottak a hadi repülésre, azonban a polgári repülés fejlődése robbanásszerűen gyors volt. Ez egyébként jó alapot biztosított számukra, mikor rákényszerültek a légierő dinamikus fejlesztésére.

A Légi Hadtest Harcászati Iskola *(„Air Corps Tactical School-ACTS")* a világ elsőként létrehozott katonai, légi hadviselési professzionális iskolája volt, amely kezdetben (1920 – 1931) *Langley Field* (Virginia), később (1931 – 1940) *Maxwell Field* (Alabama) helyőrségekben működött. A mai szemmel nézve viszonylag csekély számú oktatói és hallgatói létszáma ellenére az ACTS korszakos jelentőségű volt az Egyesült Államok doktrinális fejlesztési folyamataiban.

[5] SEVERSKY, Alexander Procofieff, (1894-1974) a légi utántöltés úttörője, *„atyja"* Oroszországból emigrált amerikai vadászpilóta, repülőgép-tervező és a légierő háborús alkalmazását kutató katonatudós. Teóriája megtalálható: *Victory through Airpower* (New York: Simon and Schuster, 1942),

A Légi Hadtest Harcászati Iskola elmélete alapozta meg az USA II. világháborús légi stratégiáját, a tanári állományából többen az elhíresült ún. *„bombázó-maffia”* tagjai[6] voltak és a légierő elmélet alapvető kérdéseire keresték a választ, pl.: *„Egy ellenséges ország erejének melyek a legfontosabb összetevői, és azt hogyan tudja a légierő pusztítani, ill. az ellenséges szándékaitól eltéríteni?”*. Nézeteiket összegezve és egy kissé leegyszerűsítve: a nemzetállamok összefüggő gazdasági rendszerekként voltak értelmezhetőek, amelyek létfontosságú pontjainak pusztításával az egész rendszert le lehet rombolni.

1941 júliusában, *Franklin D. Roosevelt* elnök megbízta *Harold L. George* tábornokot, hogy az újonnan létrehozott Légi Háborús Tervező Részleg *(„Air War Plans Division-APWD”)*[7] munkatársaival dolgozza ki a náci Németország és szövetségesei térdre kényszerítését elősegítő háború légi stratégiájának alapvetéseit, fő kérdéseit. Az elsőként kidolgozott terv, mai szóhasználattal élve egyfajta legfőbb *„légi hadviselési doktrína”* az *AWPD-1* jelű volt. Módosított változatának, az *AWPD-42* jelzetűnek, a kidolgozásánál, mire az Egyesült Államok belépett a háborúba, már felhasználták a folyó háború első nyolc hónapjának a legfontosabb tapasztalatait is.

1941 elején amerikai, kanadai és brit háborús stratégiai tervezők ültek össze Washington D.C.-ben, hogy meghatározzák az amerikai hadbalépést követő szövetséges légi stratégia alapelveit. A konferencia ún. *ABC-1*-ként (*„American-British Conference-1, ABC-1”*) vonult be a hadtörténetbe. Az első döntés abban született, hogy az Egyesült Államok légi támadó erőforrásait alapvetően a náci Németország, Olaszország és a már általuk elfoglalt területek ellen irányuljanak, míg Japán ellen csak egy ún. *„másodlagos defenzív”* stratégiai szintű légi hadjáratot folytassanak, az erőforrások optimális kihasználása érdekében.

John Slessor a Royal Air Force repülő altábornagya és munkatársai javasolták, hogy a tengelyhatalmak katonai potenciálja ellen irányuló légi hadjáratokat alapvetően az Egyesült Királyságbeli légi bázisokról támadó amerikai és brit hadászati bombázókra alapozzák. Ezt az elgondolást, bedolgozták 1941 áprilisában a *„Rainbow-5”* jelű[8] az amerikai szárazföldi és haditengerészeti haderőnem közös háborús irányelveibe is.

---

[6] R. Olds, K. Walker, D. Wilson, H. L. George, O. Moon, R. Webster, H. Hansel, L. Kuter, M. S. Fairchild

[7] Az APWD-n kívül más, ad-hoc szervezetek is elemezték az amerikai politikai és katonai vezetés számára a légi hadviselés tapasztalatait és tettek ajánlásokat a légi hadviselés stratégiájára: COMMITEE OF OPERATIONS ANALYSIS – COA. Az 1942-ben Arnold tábornok (*US Army*) által alapított bizottság fő feladata a németek elleni légi háború adatainak, tényeinek gyűjtése, összegzése volt. E bizottság lett az első Összhaderőnemi Célpontkiválasztó Csoport (Joint Target Group), amelynek javaslatait a légi műveletek tervezői rendszeresen megkapták. ECONOMIC OBJECTIVE UNITS – EOA. 1944-ben a londoni amerikai nagykövetségen jelentést készített összegző csoportot hívták EOU-nak. A jelentés összegezte az amerikai és a brit légierő vezető tábornokainak és műveleti elemzést végző törzseinek a javaslatait a bombázandó célpontok kiválasztására.

[8] Az 1920-as évektől az Egyesült Állami fegyveres erőiben ún. *„színkódos” („color-coded”)* háborús terveket dolgoztak, amelyek többféle feltételezett háborús forgatókönyvnek megfelelően körvonalazta a stratégiai erőforrások felhasználását. E tervek része volt a Rainbow 1-től 5-ig tervsorozat is:

– A *Rainbow-1* olyan honvédő háborúra vonatkozó terv volt, mely szerint az USA-nak, szövetségesek nélkül kellett volna megvédeni az Államokat és a nyugati féltekét a tizedik szélességi foktól északra.
– A *Rainbow-2* feltette, hogy ugyanezt a háborút Franciaországgal és Nagy-Britanniával szövetségben hajtanák végre.
– A *Rainbow-3* a Rainbow-1 volt azzal a *„jelentős többlettel”*, hogy az ún. *„Orange Plan”* –el integrálták, amely a legfontosabb terv volt egy japán elleni háborúra.

Harold L. George tábornok felhasználta a Légi Hadtest Harcászati Iskola által kidolgozott és az előző években oly sokat kritizált stratégiai bombázási elméleteket, annak tudatában, hogy *„egy douhetista szemléletű”*, a légi stratégiát (bombázó hadjáratokat) mindenek fölé helyező tervet a szárazföldi- és haditengerészeti dominanciájú vezetésen nem lehet majd kersztül erőltetni. Így az APWD szakemberei az arany középutat választották: a hadjáratokat stratégiai légi támadással javasolták kezdeni, majd amennyiben erre reális esély mutatkozik átengedni a főszerepet a felszíni erőknek (inváziós erők), amelyek légi támogatásának fontosságát hangsúlyozták.

Az APWD-1[9] egyértelműen a *„közvetett stratégia”* minta példája volt, hiszen a németek és szövetségeseik hadi gazdasági célpontok és az ellenség háborús infrastrukturájának pusztítására fókuszált. George tábornok víziója szerint az APWD-1 nem csak egy *„egyszerű erő-eszköz, ember-haditechnika-hadianyag-célpont”* allokációs lista volt, hanem megadta az eljárási rendet, hogy miként tudják *„a szövetségesek alkalmazni a légierőt a háború politikai céljai elérése, végsősoron megnyerése érdekében”*. Érdekessége volt a tervnek, hogy az ipari potenciálon túl, egyfajta opcióként, végső lépésként Berlin, benne elsődlegesen a civil lakosság is, célponntá válhatott volna, amennyiben a kapitulációt ez előzőek szerint nem érték volna el.

Az APWD-1-en kívül folyamatosan készültek a terv különböző modifikációi (APWD-2, APWD-4), azonban az APWD-42 volt az igazán jelentős, amelyet érdemes elemeznünk.

Az APWD-42 előzménye volt, hogy Roosevelt elnök 1942. augusztus 24-én, a kedvezőtlen globális helyzet[10] miatt elrendelte az amerikai katonai repülő erők alkalmazásának felülvizsgálatát és feladatul szabta egy olyan terv kidolgozását, ami biztosíthatja a hosszútávú *„légi fölényt”* a németek és szövetségesei felett. A terv azzal számolt, hogy a kockázata, annak hogy, a Szovjetunió kieshet a háborúból igen nagy. Ebből adódóan az inváziós erők jelentős német létszámbeli fölénnyel találkoznának, ami akár el is lehetetleníthetné, de mindenképpen rendkívül költségessé tenné az európai inváziót. Cél volt, hogy fenntartsák a németek kétfrontos fenyegetettségét és 1944-re, az előző két évben végrehajtott stratégiai légi támadásokkal megbénítsák a tengelyhatalmak légierőit és a kiszolgáló infrastruktúráját, benne a repülőgépgyártó kapacitásokat is.

Az APWD-42 kapcsán egy sor elméleti és gyakorlati probléma is felmerült, többek között a haditengerészeti légierő és az Szárazföldi Hadsereg Légi Hadtest viszonya is, az erőforrások felhasználásának összehangolása, a prioritások meghatározása kapcsán.

– *A Rainbow-4* kiterjesztett a feladatot a teljes nyugati féltekére.
– A *Rainbow-5* már többfrontos (afrikai és európai hadszíntér) háború tervét tartalmazta.

[9] Az APWD-1 mintegy 61.800 darab katonai repülőgép igényt támasztott az amerikai hadiipar felé, amelyet későbbi tervek szerint folyamatosan pontosítottak. A haditengerészeti légierőt is figyelembe véve, 1942-ben 139.000 repülőgép, benne több mint 5.000 nehéz bombázó igényt számvetettek 2,1 millió katona személyi állomány szükséglettel. A program indukálta, többek között a *B-29 Superfortress és B-36 Consolidated-Vultee* stratégiai bombázók tervezését és a háború későbbi szakaszában való bevetését.A tervben mintegy 154 stratégiai célpontot jelöltek meg négy területről: villamos hálózat, kőolaj és hajtóanyag iparág, szállítás és a hozzátartozó infrastruktúra, valamint a *Luftwaffe* szervezete és bázisai.

[10] Ekkora Japán egyre nagyobb teret nyert a Csendes-óceáni térségben, Rommel Észak-Afrikában már Egyiptomot fenyegette és a szovjetek helyzete sem volt túl rózsás Sztálingrádnál és a Kaukázusi olajmezőket illetően, továbbá a német tengeralattjárók eddig már 589 hajót süllyesztettek el.

3. AZ EGYESÜLT ÁLLAMOK LÉGIEREJÉNEK LÉTREJÖTTE, AZ ALKALMAZÁS ELMÉLETI ALAPJAI

Az amerikai, és nem túlzás kijelenteni az egyetemes, légi hadviselési elméletekben fordulópontot jelentett, az 1947. szeptember 18-án önálló haderőnemként, létrehozott Légierő megjelenése. Az amerikai légierő[11] születése az akkoriban feltűnő ún. *„légierő-koncepció”*[12] (*„concept of air power”*) világosan megfigyelhető gyakorlati megvalósulása volt. *„A légierő koncepció a klasszikus légi hadviselési kérdéseket a légi hadviselés végrehajtása érdekében létrehozott (vagy létrehozandó) erő- és eszközrendszer működtetésének fő kérdéseit, alapvető működési módjait, a haderő többi komponensével való viszonyrendszerében vizsgálja.” [13]*

A *USAF* létrejöttének jogi alapját az ún. *„Key West Egyezmény”* adta, amely hivatalosan *„A Fegyveres Erők és az Egyesített Vezérkar feladatai”*[14] címet viselte. Az egyezmény legfontosabb része a repülő-erőforrások haderőnemek közötti felosztása és a potenciális légi hadviselési feladatok (küldetések, végrehajtható műveletek) allokálása volt.

Az egyezmény alapján:

- A haditengerészeti haderőnem megtarthatta a légi hadviselési arzenálját, azonban a potenciális légi műveleteit korlátozták, az általa folytatott tengeri műveletek légi támogatására.
- A szárazföldi haderőnem csak azokat az erőforrásokat tarthatta meg, amelyek a légi felderítő támogatást és a légi egészségügyi evakuálási feladatokat volt hívatott végrehajtani.
- A légierő haderőnemhez rendelték az összes, az előzőben nem szereplő, repülő-erőforrást és rögzítették, hogy minden stratégiai légi műveletért, a felszíni erők harcászati szintű támogatásáért és a légi logisztikai feladatokért is a létrehozandó légierő a felelős.

E három pontban összegzett erőforrás- és feladat megosztás óriási változást jelentett az előző évtizedek gyakorlatához képest és jelentős érdeksérelmeket is okozott, hiszen a szárazföldi haderőnem gyakorlatilag *„elvesztette”* az erőforrásait és primátusát egy jövendő háborúban betöltött szerepet illetően. Ekkortól datálható az ma is tartó folyamat, hogy az Egyesült Államok Légiereje az a szervezet, amely alapvetően determinálja a légi hadviselési elméleteket és az azok leképezéseként is felfogható légi hadviselési, légierő doktrínákat.

---

[11] *„US Air Forces - USAF”*

[12] Alapvetően három légierő koncepciót valósítottak meg a történelem során:
- Az önálló légierő koncepciója (Douhet, Trenchard)
- Az együttműködő légierő, (Luftwaffe, USArmy Air Force, Vörös Hadsereg Légiereje a II. vh-ban)
- A szovjet légierő koncepció a hidegháborútól kezdődően.

[13] A szerzők definíciója.

[14] *„Function on of the Armed Forces and the Joint Chiefs of Staff”*

BEFEJEZÉS, ÖSSZEGZÉS

Tanulmányunkban áttekintettük, a világ vezető katonai légi nagyhatalma, az Egyesült Államok légi hadviselési elméletrendszere fejlődésének és az azzal szoros kapcsolatban lévő szervezeti változásainak fejlődéstörténetét.

A második világháború befejezését, megnyerését követően az Egyesült Államok nem követte el mégegyszer a *„Nagy Háború”* utáni hibáját. Eldöntötték, hogy a hasonló, globális konfliktusok megelőzése érdekében, s természetesen saját világpolitikai szerepük, hatalmuk állandósítása céljából, ezúttal nem vonulnak vissza határaik mögé. A politikai, s katonapolitikai tanulságokat egyaránt levonva, a meghatározó erejű légierő (s természetesen a többi haderőnem ésszerű és fenntartható mennyiségű) megtartása mellett álltak ki. Ez a döntés egyébként szerves részét, folytatását képezte a politikai-katonai gondolkodásuk fejlődésének.

Jól megfigyelhető az íve e folyamatnak, amelyben a bevezetésben tárgyalt négy gondolkodásmód az idők folyamán, uralkodó paradigmaként determinálta a légi hadviselési elméleteket és az azt megvalósító szervezeteket. A hidegháború idejére eljutott *„a légierő, a háború végkimenetele szempontjából, legyen stratégiai jelentőségű, azonban a háború folyamán, annak megfelelő időszakaiban támogassa a másik két haderőnemet és tevékenysége (légi hadjáratok, műveletek) integrálható legyen a felszíni műveletekkel káros interferenciák nélkül, ideális esetben hatékonyságnövelő szinergiát feltételezve”* gondolkodásmódig.

Természetesen az alkalmazás elméletének fejlődése nem állt meg azóta, jól megfigyelhető doktrinális változásokat indukált a koreai-, a vietnámi- és Öböl-háborúk, valamint a globális politikai és gazdasági-társadalmi változások.

A mostani légierő már úgy jelenik meg, mint *„az Egyesült Államok haderőneme, ami felelős a légi-, űr- és kíberhadviselésért”* az államok haderőnemei közül. Látható, hogy a hadviselésnek az űrbe és a számítógépes hálózatok területére való kiterjesztése is determinálja a légierő alkalmazásának elméletét és gyakorlatát, amelynek további fejezeteit napjainkig a következő cikkeinkben szeretnénk bemutatni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Hadtudományi Lexikon, Magyar Honvédség és Magyar Hadtudományi Társaság, Budapest, 1995, főszerk.: Szabó József, ISBN 963 04 5226x;
[2] Warden, John: Enemy as a system, In: Air Power Journal, 1995 Spring, (http//www.airpower.maxwell.af.mil/airchronicles/apjindex.html);
[3] Analyzing Effects Based Operations (EBO) Workshop Summary (http://www.mors.org/publications/phalanx/mar02/lead.htm); Air Campaign Planning Handbook, Warfare Studies Institute, 2000;
[4] Faber, Peter: Competing Theories of Airpower: A Language for Analysis, Aerospace Power Chronicles (http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/au/faber.htm)
[5] www.fas.org és http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/awcgate.htm;

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

- *"Doctrine provides a military organization with a common philosophy, a common language, a common purpose, and a unity of effort."*

(General George H. Decker, USA)

Dr. habil. Krajnc Zoltán - Gönczi Gabriella

THE MAJOR DETERMINING FACTORS OF THE HUNGARIAN AIR WARFARE DOCTRINAL LITERATURE SYSTEM

NATO membership of the Hungary demands, analogically the advanced west democracies, development of a three-level security concept that regulars the structure, training and employment of our armed forces including the Hungarian air forces units.

That's right, experimentally with parallel or combined method, began the development of National Security Strategy, National Military Strategy, furthermore joint and service doctrines including of air warfare doctrine system.

In accordance with military doctrine the Hungarian Defence Forces should execute their prescribed aims and carry out their assigned tasks. The military doctrine, according to military science of the NATO countries, should comprehend in the broad and narrow sense, too. In the broad sense is aggregate of the theoretical and practical knowledge which have to know for the successful employment of the armed forces, accordingly the doctrine is a system of theory[1].

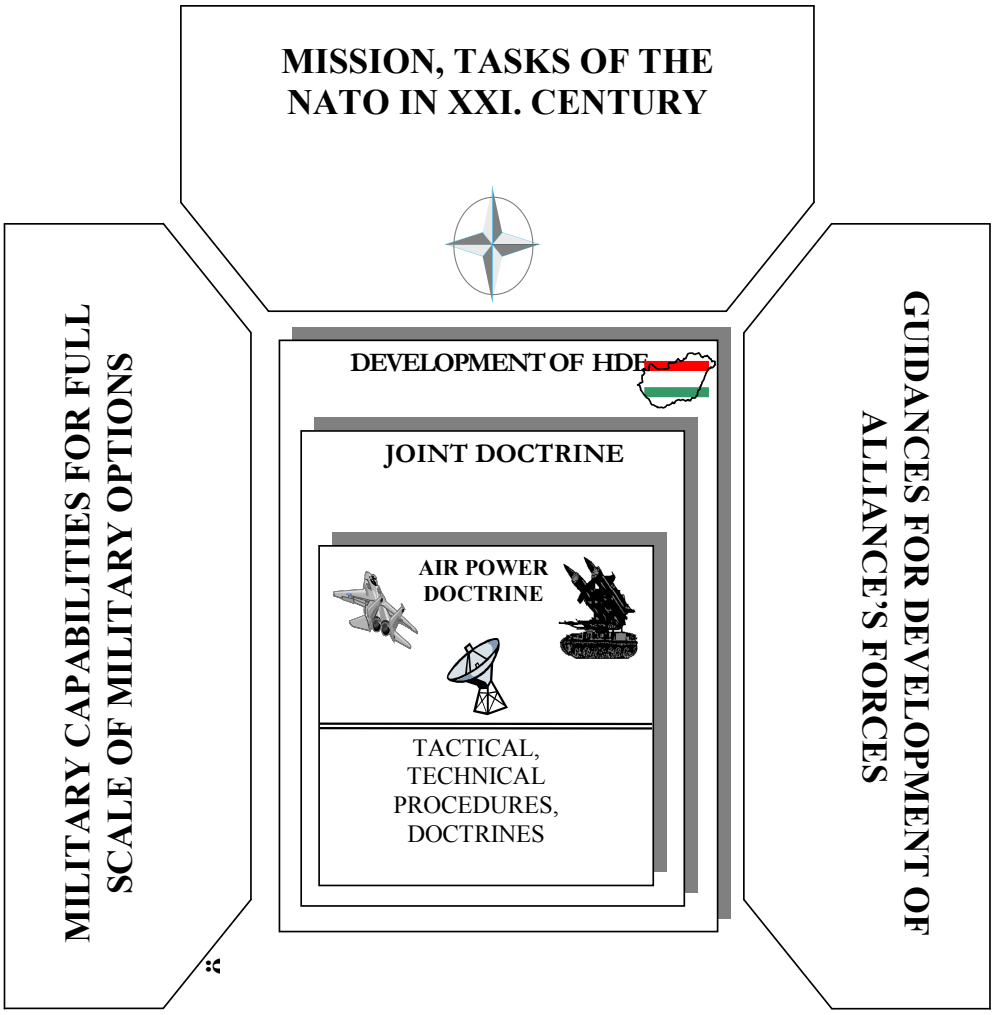
In the narrow sense is a special rule-book which contains the guides, principles and rules of the employment of the whole or one or some segments of the armed forces. It is important to remonstrate that military doctrine do not one document but a system of different military documents which build a special doctrinal literature.

The air power's doctrine totalizes adaptability principles and recommendations concerning air component of the armed conflict and takes potential operational forms, types into account.

The air power is a special capability or power which provides possibility of military employment of the airspace defining / interpreting transmission and theatre of its activity. Accordingly the sphere of operation of air power's doctrine does not localize air force service in a narrow sense but integrates air warfare potential of whole military area / all services.

[1] WILLCOKS, M. A.: Future conflict and military doctrine, In.: The RUSI Journal, Volume 139, Issue 3 June 1994 , pages 6 – 10;

The doctrine, in level of air force service, does not a monolithic document but this is aggregate of regular publications of air warfare and different area of air force service administration and constitutes doctrinal literature. Generally it is found a central doctrine which integrates whole spectrum of air warfare and takes as a basis for other doctrines, publications that contains detailed guidelines, tenets and principles.



Impression of Alliance's Strategy Concept on Hungarian doctrine system

The AJP-3.3 (former named *ATP-33 C*) important acts the part among NATO allied publications suchlike AFDD-1 among US Air Force's publications and AP-3000 among Royal Air Force's doctrine documents. The NATO doctrines which deal with air force appear as allied, national, service and joint form in tactical, operational and strategic level equally. The employment and planning is carried out in the light of all documents.

In our essay we deal with an actual, important topic such as short analysis and aggregate of the determinant-system of Hungarian air warfare doctrine system being under development.

THE ALLIED DETERMINING FACTORS OF THE HUNGARIAN AIR WARFARE DOCTRINE SYSTEM

We classified the determining factors of Hungarian Air Force doctrine and collected into the first group of the determining factors of originating by our NATO's membership and we put into the second group the Hungarian national determinants.[2]

The cardinal aim of the NATO in accordance with the Covenant of the United Nations is protect of freedom and security of all their member-states. The Strategy Concept defines the frame of collective security and summarizes the changes and trends of the NATO's strategy environment.

This document in principal gives the basis of the foreign- and security policy of the member nations or comes true in their independent policy however it indirectly determines armed forces including also Hungarian Air Forces standing in lower level of security architecture.

The most important conclusions for armed forces of the individual nations are principally encountered in the following chapters: the purpose and tasks of the Alliance, guidelines for the Alliance's forces, the Alliance's force posture.

We must make it absolutely clear that Hungarian Armed Forces including air units have just tasks such as proportional to role and importance in Alliance by a basic principle *"a balance of roles and responsibilities among the Allies"*

Requirements deducing from this Concept affect air power's doctrine just indirectly because they make a specific vision Alliance's strategic environment of perspective defence, crisis management and peace operations

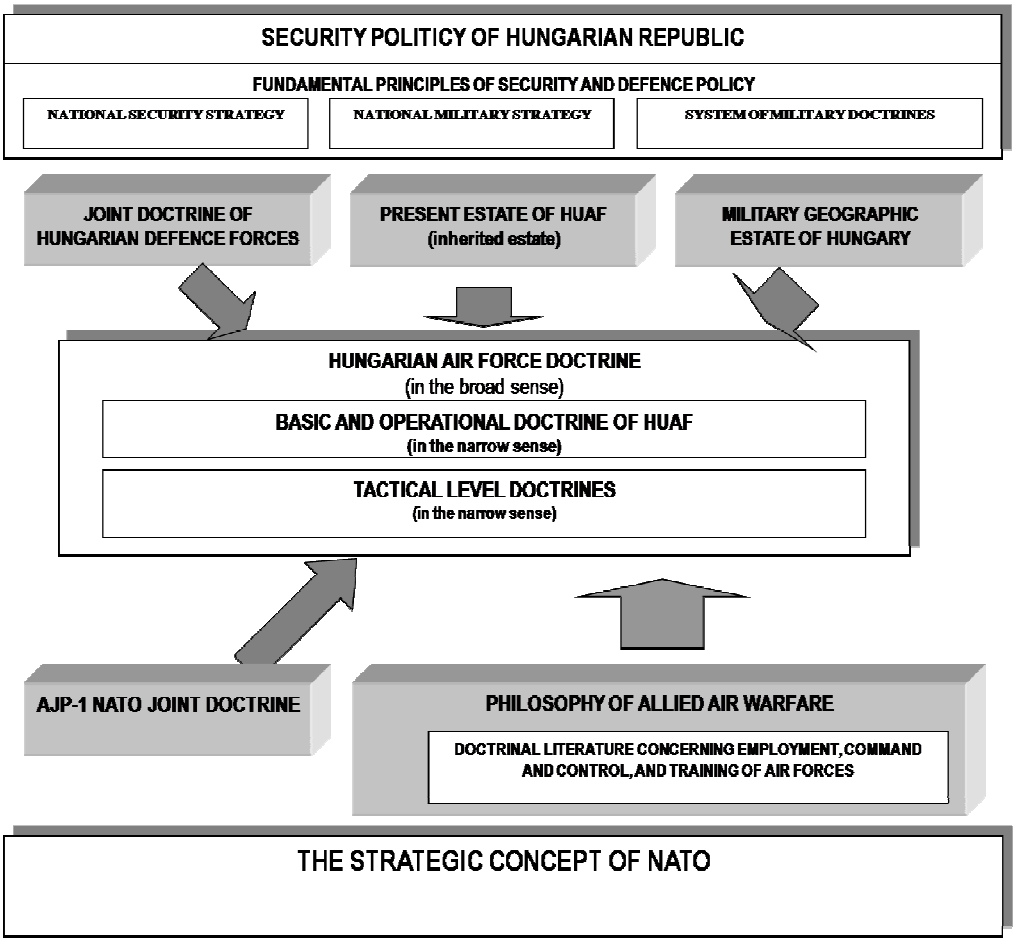
Realistically can be traced that our Air Forces will totally meet Strategy Concept's requirements in after years.

"The size, readiness, availability and deployment of the Alliance's military forces will reflect its commitment to collective defence and to conduct crisis response operations, sometimes at short notice, distant from their home stations, including beyond the Allies' territory. The characteristics of the Alliance's forces will also reflect the provisions of relevant arms control agreements. Alliance forces must be adequate in strength and capabilities to deter and counter aggression against any Ally. They must be interoperable and have appropriate doctrines and technologies. They must be held at the required readiness and deployability, and be capable of military success in a wide range of complex joint and combined operations, which may also include Partners and other non-NATO nations."[3]

---

[2] There is another apportionment in military literature, too. There are an interest oriented and a science oriented side. The science oriented side is relatively stable but at the same time goes ahead continuously and integrates results of research into different air doctrines. In another composition: the doctrines must correspond to theories, theses, and recommendations of universal military science. The interest oriented side is discoverable in long time strategies and concepts of alliances and nations.
As a general principle there is not capital point of difference between this and our system because in our determining system are discoverable elements of national and alliance interest and elements of modern military science. *(Istvan, Talla: Doctrine of the Hungarian Air Force, In.: Bolyai Review, 1998, additional publication,)*

[3] The Alliance's Strategic Concept, NATO Press Release, 52. point, (www.nato.int),



The most important determinants of HUAF doctrine literature

THE NATIONAL DETERMINING FACTORS OF THE HUNGARIAN AIR WARFARE DOCTRINE SYSTEM

We can interpret by analysis of national determining factors that armed forces including air forces are one of the most basic means of security policy. Consequently the starting-point of Hungarian national air warfare doctrine system is the Joint Doctrine of Hungarian Defence Forces especially its parts which goes into details about operations, command and control and logistic support.

In transition period before we would start quality development of armed forces it seems to significant determining factor is current condition of air units with its heritage of former limitations. This problem has the meaning of interoperability of air units are limited for this reason it must be managed in doctrinal level.

It is perceptible that capabilities regarding compatibility will form step by step for many years. In addition geostrategic conditions also determine every defence possibilities and concepts that's why air warfare doctrines also are determined by geostrategic situation.

In generally we do not have to forget about approach of warfare especially air warfare because our Air Forces originated from soviet type air defence troops. In this domain we stepped forward a lot and so called intellectual (mental) compatibility is making good progress.

REFERENCES

1. Krajnc Zoltán: Complex analysis of determinants of the Hungarian Air Force's doctrine (PhD-dissertation), Miklós Zrínyi National Defence University, 2000,
2. The Alliance's Strategic Concept, NATO Press Release, (www.nato.int),
3. Willcoks, M. A.: Future conflict and military doctrine, In.: The RUSI Journal, Volume 139, Issue 3 June 1994 , pages 6 – 10;
4. Talla István: A magyar Légierő doktrínája, In.: Bolyai Szemle, Különszám, Budapest, BJKMF, 1998, ISSN 1416-1443;
5. Berkovics Gábor: A Magyar Honvédség első lokátorai. Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények 2001/1. 164-178. oldal;

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. Ludányi Lajos – Prof. Dr. Makkay Imre – Teréki Csaba

TERMO-DIAGNOSZTIKAI ELJÁRÁSOK LEHETŐSÉGEI REPÜLŐGÉPEK SÁRKÁNY, HAJTÓMŰ ÉS FEDÉLZETI RENDSZEREINEK VIZSGÁLATA SORÁN

BEVEZETÉS

A termo-diagnosztika az egészségügytől az épületek hő-háztartásának felméréséig már számos területen bizonyította hasznosságát. Az ipari létesítmények gépeinek, az energiaellátás kapcsoló-, átalakító berendezéseinek vizsgálatára alkalmazott termo-diagnosztikai eszközökből (megfelelő kiválasztással) felépíthető a repülőgépek üzemeltetésekor fellépő termodinamikai jellegzetességet értékelő és regisztráló mérőrendszer.

A repülőgépek „állapot szerinti" üzemeltetésekor – a sárkány-, hajtómű szerkezetek és a fedélzeti rendszerek alkalmasságának megítélése során – a szisztematikus hő-terhelés vizsgálat rendkívül hasznos eredményekkel szolgálhat.

A roncsolásmentes vizsgálatok [1,2] a légi járművek karbantartása, műszaki kiszolgálása során fontos szerepet töltenek be. A termo-diagnosztika, bár sok más területen egyre nagyobb teret kap, még nem tartozik a mindennapi gyakorlatba. Az építészet, villamos ipar, gépészet és különböző folyamat felügyeleti rendszerek hőterhelés vizsgálatait erre szakosodott cégek a feladatokhoz illesztett eszközökkel és technológiával végzik.[3] A vizsgált objektumok által kibocsátott/elnyelt hő képe alapján a gyakorlott szakemberek a működési rendellenességeket fel tudják térképezni és a megfelelő ellenintézkedés hatását is ellenőrizni tudják.

A légi járműveknél felmerülő üzemidő, karbantartás, sérülés-javítás utáni állapotok objektív megítélését segítheti a termo-diagnosztikai kutatások külföldi és hazai eredményeinek hasznosítása, mely utóbbihoz a ZMNE RLI tanszékein e témában folyó elméleti és kísérleti munkák is hozzájárulhatnak. Jelen írásműben a szerzők – számos külföldi K+F eredmény mellett a hazai termo-diagnosztikai vizsgálatok eszközrendszerét és eljárásait áttekintve – a légi járműveknél is alkalmazható megoldásokat keresik.

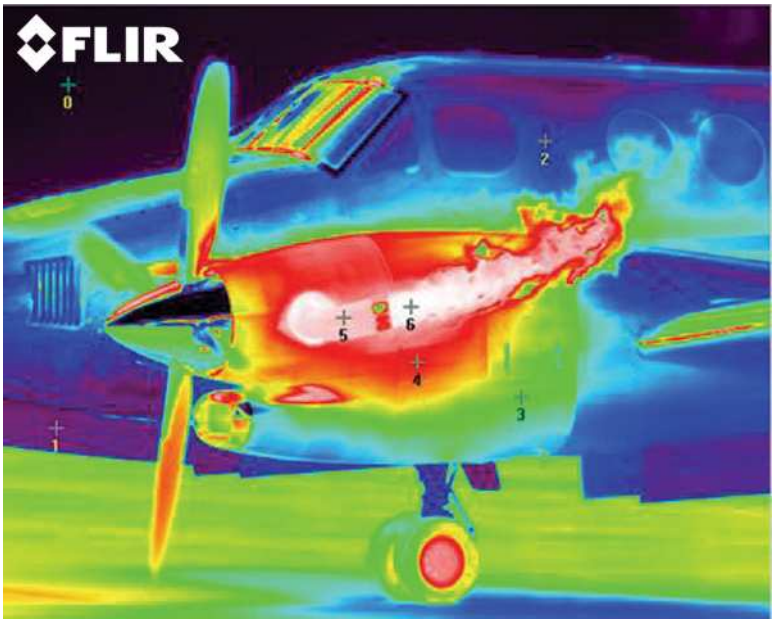
TERMO-DIAGNOSZTIKA

Minden fizikai test, amely az abszolút nulla Kelvin foknál melegebb, infravörös hullámokat bocsát ki magából, de az ember számára az infravörös tartomány – amely hullámhossza a látható fénynél

nagyobb – szemmel már nem látható. A hőt a tárgyak, a közeg érintésével a bőrünk segítségével tudjuk természetes úton érzékelni.

A hőkép megjelenítésére speciális segédeszközt, termo-kamerát kell igénybe vennünk, amely a látható fény tartományán kívüli hőhullámokat a szemünk által érzékelhető képpé alakítja. A „frekvencia-transzponálás" eredményeként a hőmérséklettel arányos fényességű pontok jelennek meg a érzékelőkre (Mikrobolométer) vetített hőkép nyomán.[4]

A termo-kamerák teljesítményének javítása mellett a hőképek létrehozására és kiértékelésére kifejlesztett célprogramok képezik a fejlesztések másik fő irányát. A szürke árnyalatú képet mesterségesen színezve az azonos hőmérsékletű, illetve az elkerülendő szélsőséges értékek már könnyen felfedezhetővé válnak.



1. kép. A FLIR (Forward Looking Infrared) a hajtómű saját hőjét mutatja[1]

Mivel a termo-diagnosztika a vizsgált objektum alakján túl első sorban a tárgy felszínének hőmérsékletét „tapogatja le" ezért a pontonkénti felbontásnak (gradációnak) az alkalmazás szempontjából különös jelentősége van. Például az INDIGO OMEGA (új nevén A10 MICRON) [5] 120X160 pixelt tartalmaz (egy pixel 51X51 mikron méretű) és <40 mK (0,23°C) felbontást biztosít. Az A10 MICRON (11 és 30 mm-es lencsékkel) a ZMNE RLI kísérleti méréseiben is jelentős szerepet kap.

A termo-kamerák lencserendszere nem csak árában, tömegében is jelentős tétel (a germánium sűrűsége 5,32 g/cm3) ezért gyakran kedvezőbb a nagytömegű (emellett rendkívül drága) zoom objektív helyett a több fix fókuszú lencsékkel szerelt kamera.

[1] http://fai.org.ru/index.php?showtopic=16476&pid=239661&mode=threaded&start=

2. kép. Az A10 MICRON 11, 18 és 30 mm-es fókusztávolságú germánium lencséi[2]

A „klasszikus” termográfia a testek saját kisugárzott hőjét érzékeli. A termo-diagnosztika ezen túl is keres anyagra, konstrukcióra, pillanatnyi állapotra jellemző tulajdonságokat. A vizsgálatok gyakran szabad térben, vagy nehezen befolyásolható zárt környezetben folynak, amelyek zavaró hatását a mérő rendszernek, illetve a mérési eljárásnak kell a lehető legkisebb értékre szorítani. A továbbiakban a „dinamikus termográfia” megvalósításának lehetőségeit tekintjük át, mely az anyagok különböző típusú gerjesztések hatására adott termikus válaszát kutatja.

DINAMIKUS TERMOGRÁFIA

A XX. század számos műszaki újdonsága – az elektromágneses és felületi hullámok, a radiometria, holográfia, termográfia, ultrahang és örvényáramok – ötvöződik a korszerű roncsolás-mentes vizsgálati eszközökben és eljárásokban.[6]

A „dinamikus termográfia”[7] lényege, hogy a vizsgálandó darabbal külső energiát közölve a folytonossági hiányok, repedések közvetlen közelében hővé alakul és ez a hő – amely akár néhány tíz °C is lehet – már detektálható termo-kamera, vagy infra-érzékeny film segítségével. Az elv egyaránt alkalmazható a fém és kompozit szerkezetű repülő eszközök vizsgálatánál, [8,9] azonban a „gerjesztés” módja – az anyag és a vizsgálati körülmények függvényében – lehet eltérő. A roncsolás-mentes vizsgálati módszerek sorában kiemelt jövőbeli szerepet kap a dinamikus termográfia [10]. Tekintsük át a legjellemzőbb gerjesztési módokat, azok sajátosságait.

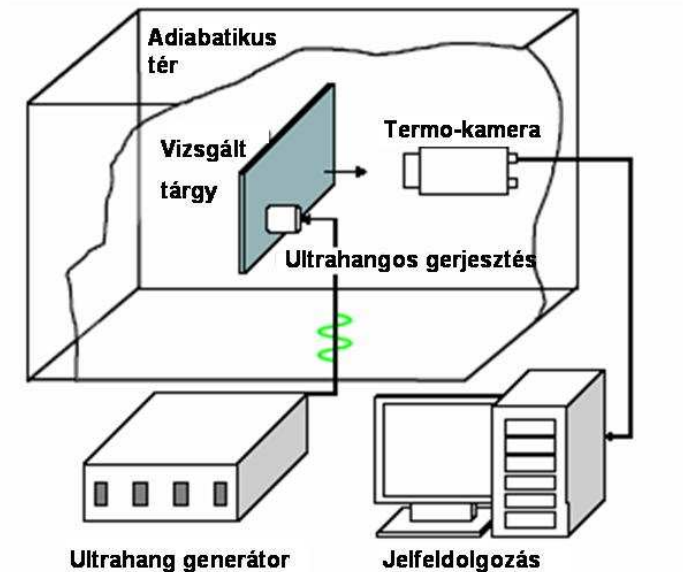
Az **optikai tartományú gerjesztés** – halogén lámpa, villanó fény – megfelelő szinkronjellel vezérelve biztosítja a fényforrás és a termo-kamera fázishelyes működését. A fény által keltett hő a sérülések, repedések környezetében a homogén anyagtól eltérően reflektálódik, amit a termo-kamera a besugárzások szünetében képi formában megjelenít. Az ismételt besugárzásokkal a mélyebb rétegek is elérhetők, a számítógépes képfeldolgozással a felbontás és a kiértékelés minősége tovább javítható [11].

[2] http://www.flir.com/uploadedFiles/CVS/Markets/Legacy/Documents/Omega%20Indigo.pdf

3. kép. B747 vizsgálata optikai gerjesztésű termo-kamerás rendszerrel[3]

Az optikai tartományú gerjesztést – viszonylagos egyszerűségének köszönhetően – széles körűen alkalmazzák a repülőgépek felületi termo-diagnosztikai vizsgálatánál. (3. kép.)

Az **ultrahangos gerjesztés** általános felépítését az 1. ábrán lehet nyomon követni. A gerjesztő jel frekvenciáját és teljesítményét a vizsgált tárgy anyagához, méretéhez kell hangolni. A termo-kamera hőmérsékletváltozást érzékel – amely a mechanikus rezgések hatására következik be.



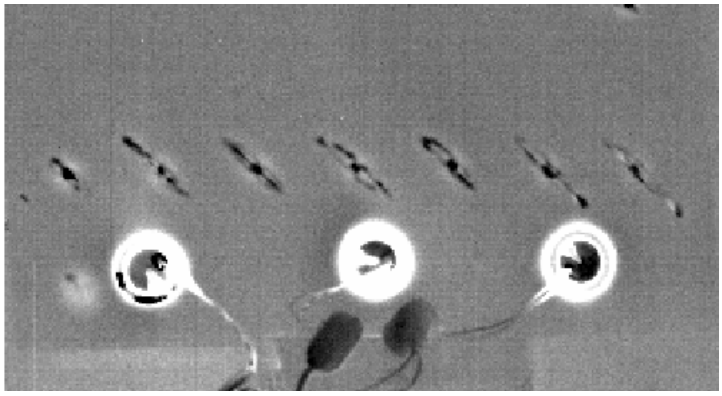
1.ábra Az ultrahanggal gerjesztett céltárgy termo-válasz vizsgálata[4]

[3] Fig. 2 THERMAL WAVE NDI OF DISBONDS AND CORROSION IN AIRCRAFT Xiaoyan Han, L.D. Favro and R.L. Thomas Wayne State University Institute for Manufacturing Research and Department of Physics Detroit, MI 48202, U.S.A.

[4] Anyagvizsgálók Lapja 2009/3 p. 88 6. ábra. alapján
http://www.anyagvizsgaloklapja.hu/UserFiles/File/2009/3/e-AVL_2009_3_2_Trampus.pdf

Az egyszerű – nem szinkronizált – akusztikus gerjesztés, ugyan létrehozza a hőmérsékletváltozást a nem homogén, deformált, repedéses szerkezetekben, azonban emellett jelentős termikus zaj is keletkezik.

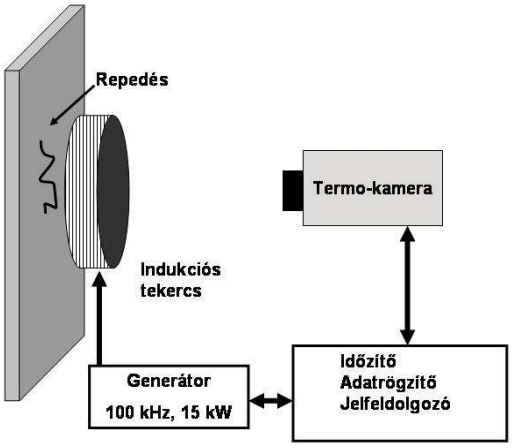
A túl nagy teljesítményű ultrahang generátorok önmaguk is kelthetnek deformációt – lásd ultrahangos hegesztés – ami a mérés meghamisításán túl maradandó károsodást is okozhat a vizsgált tárgyban. Ennek elkerülésére – a vizsgálandó tér közelében a felületre rögzítve – kisteljesítményű piezo-keramikus aktuátorokat alkalmaznak, valamint a jelfeldolgozó egység szinkronizálja gerjesztő generátort és a termo-kamerát.[12, 13]



4. kép. Kisméretű piezo-keramikus aktuátorok által gerjesztett „fázis-kép”[5]

A 4. képen látható a mintadarab 1 sec időtartamú 8 kHz frekvenciájú 200W teljesítményű besugárzását követő állapot. A Fourier transzformált fázis képe – bár tartalmazza az aktuátorok „nyomát” – jól mutatja a repedések helyét és alakját is.

Az **indukciós gerjesztéssel** a fémes (vezető) alkatrészekben okozhatunk hőmérséklet-emelkedést (2. ábra.). A nagyfrekvenciás jelet előállító generátor és a termo-kamera az időzítő által fázisban vezérelt, ami egyben a képfeldolgozás számára is referencia jelet biztosít.



2. ábra. Indukciós gerjesztéssel keltett hő a repedések, anyagfáradások termo-diagnosztikai felderítésére

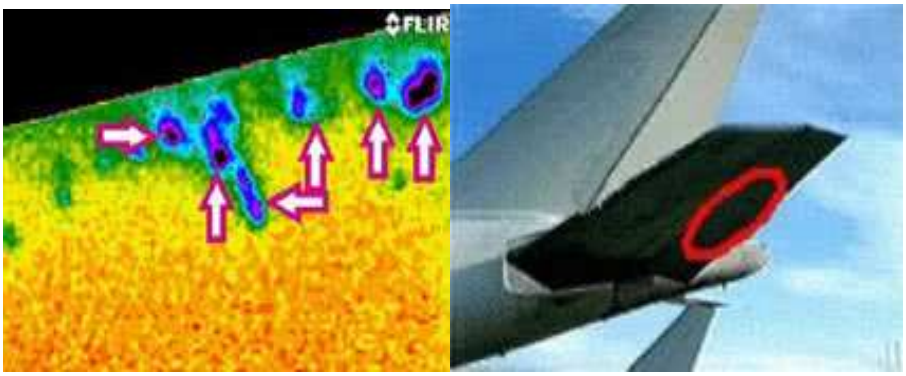
[5] Fig. 5/c. Thermography with excitation by elastic waves: comparison of techniques (pulse, burst, lockin) by Th. Zweschper, A. Dillenz, G. Riegert, G. Busse University of Stuttgart, Institute of Polymer Testing and Polymer Science (IKP), Department of Nondestructive Testing, Pfaffenwaldring 32, 70569 Stuttgart, Germany

Az indukciós gerjesztés – a frekvenciatartomány miatt – csak a fémes vezető anyagokban kelt a detektáláshoz elegendő hőt. A továbbiakban ennek nyomán született – jelenleg kísérleti fázisban lévő – eljárást ismertetünk, amely lehetőséget kínál az eddig nem vagy csak nehezen detektálható sérülések felderítésére.

MIKROHULLÁMÚ GERJESZTÉS A DINAMIKUS TERMOGRÁFIÁBAN

A modern repülőgépek egyre nagyobb számban épülnek kompozit technológiával, ami a javuló tömeg/teljesítmény mutatók szempontjából örvendetes – azonban a fenntartás, karbantartás, javítás számára új kihívásokat is jelent. A korszerű kompozit alapú repülőgép alkatrészek „pre-preg" (előre impregnált) karbon, üveg, kevlár szövetből épülnek, amit a kötéshez vacuum-press kemencékben „sütnek" készre. A gyártás során folyamatos a minőség-ellenőrzés, ami biztosítja, hogy a kész alkatrész lehető legjobb paraméterekkel hagyja el a szalagot.

A repülőgépek életük folyamán gyakran kapnak „hideget-meleget" – ami önmagában nem lenne baj, hiszen így méretezték őket. Az előre nem látható események – vihar, villámcsapás – okozhat olyan, szemmel nehezen felfedezhető könnyebb serüléseket, repedéseket, amelyeken keresztül nedvesség juthat például a „honeycomb" (méhsejt) szerkezetbe. (5. kép)

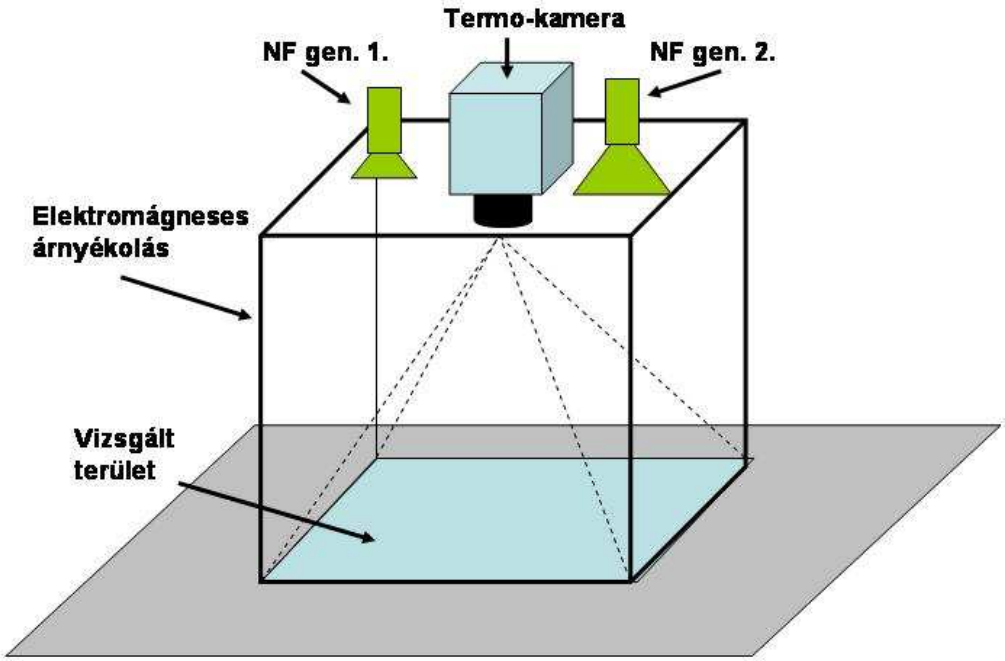


5. kép. A magassági kormány kilépő élébe befagyott víz termo-képe[6]

A korábban áttekintett roncsolásmentes vizsgálati módszerek sorát bővítendő a RLI kutatóival keressük a további termo-diagnosztikai gerjesztési módszereket, amelyek segíthetik az ilyen és ehhez hasonló – nem szokványos – meghibásodások felderítését. A nagyfrekvenciás gerjesztés tartományát a „mikrohullámú sütők" irányába próbáljuk kiterjeszteni – ezáltal a vízcseppek, jég, nedvesség, pára indikálását elősegíteni.

A műszaki megoldás alapja olyan nagyfrekvenciás – mikrohullámú – generátor(család), amely átfogja a repülőgépek építésénél használatos anyagok gerjesztési tartományát és alkalmas azokban termikus reakció kiváltására (3. ábra.).

[6] http://www.detect-a-leak.co.nz/other.html#aircraft



3. ábra. A mikrohullámú vizsgáló kamra felépítése

A mikrohullámú generátor – megfelelően kiképezett antenna és kezelői védelmet biztosító árnyékoló rendszerrel együtt is hordozható, könnyen telepíthető egységet kell, hogy képezzen a termo-kamerát és a vezérlőt is magába foglaló szerkezetben. Mindemellett biztosítani kell a beépített berendezések elektromágneses kompatibilitási (EMC) körülményeit, ami fokozott belső árnyékolást követel a sugárzott és vezetett zavarok ellen.

A kutatás jelen fázisában (2010. március) a megfelelő generátorok kiválasztása, kipróbálása és mérőkamra megtervezése, kivitelezése folyik.

ÖSSZEFOGLALÁS

A nagy repülőgépgyárak, kutató intézetek, egyetemek számos eljárást dolgoztak ki a roncsolásmentes vizsgálatokra, amelyek az adott feladathoz illetve körülményhez illesztve hozhatnak eredményt. A légi járműveknél felmerülő üzemidő, karbantartás, sérülés-javítás utáni állapotok objektív megítélésében a dinamikus termográfia módszerei lehetnek segítségünkre. Az áttekintett gerjesztési módszerek önmagukban is új lehetőségeket kínálnak, ezért a ZMNE RLI tanszékein folyik a kipróbálásuk, mindemellett egy ezeken túlmutató „hiánypótló” megoldásról is beszámoltunk, melynek munkálatai jelenleg is folynak.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Dr. BÉKÉSI László - KAVAS László - VONNÁK Iván Péter
Roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek alkalmazásának tapasztalatai
http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/roncsolasmentes_anyag_vzsg.pdf

[2] GYENES Gábor - SVEHLIK János A roncsolásmentes anyagvizsgálatok (ndt) szerepe és jelentősége légijárművek állapotfelmérésében, üzemidő hosszabbításában és állapot szerinti üzemeltetésében
http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/gyenes_gabor_svehlik_janos.pdf

[3] http://www.termográfia-termokamera.hu/hu/felhasznalasi-teruletek
http://www.termokamera.hu/
http://www.thermografia.hu/

[4] http://www.termográfia-termokamera.hu/hu/termografia

[5] http://www.flir.com/uploadedFiles/CVS/Markets/Legacy/Documents/Omega%20Indigo.pdf

[6] TÓTH László Miskolci Egyetem, Bay Zoltán Intézet SERGE CRUTZEN Joint Research Institute
RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATOK, AZOK MEGBÍZHATÓSÁGA ÉS KÖVETKEZMÉNYEI Készült: a TEMPUS S_JEP_11271 projekt támogatásával
Miskolc – Petten 1999 http://mek.niif.hu/01100/01189/01189.pdf

[7] Anyagvizsgálók Lapja 2009/3 pp88-89 http://www.anyagvizsgaloklapja.hu/UserFiles/File/2009/3/e-AVL_2009_3_2_Trampus.pdf

[8] R.L. Thomas, Xiaoyan Han, and L.D. Favro Institute for Manufacturing Research Wayne State University, Detroit, MI 48202, USA Thermal Wave Imaging of Aircraft for Evaluation of Disbonding and Corrosion
http://www.ndt.net/article/ecndt98/aero/017/017.htm

[9] David K. NONDESTRUCTIVE INSPECTION OF COMPOSITE STRUCTURES: METHODS AND PRACTICE HSU Center for Nondestructive Evaluation Iowa State University Ames, Iowa 50011, USA
http://www.ndt.net/article/wcndt2008/papers/612.pdf

[10] Yoseph Bar-Cohen: Emerging NDE Technologies and Challenges
at the Beginning of the 3rd Millennium – Part I, II Jet Propulsion Laboratory, Caltech, (82-105),
http://www.ndt.net/article/v05n02/barcohen/barcohen.htm

[11] THERMAL WAVE NDI OF DISBONDS AND CORROSION IN AIRCRAFT Xiaoyan Han, L.D. Favro and R.L. Thomas Wayne State University Institute for Manufacturing Research and Department of Physics Detroit, MI 48202, U.S.A.

[12] Thermography with excitation by elastic waves: comparison of techniques (pulse, burst, lockin)
by Th. Zweschper, A. Dillenz, G. Riegert, G. Busse University of Stuttgart, Institute of Polymer Testing and Polymer Science (IKP), Department of Nondestructive Testing, Pfaffenwaldring 32, 70569 Stuttgart, Germany

[13] LOCKIN THERMOGRAPHY METHODS FOR THE NDT OF CFRP AIRCRAFT COMPONENTS Th. Zweschper, A. Dillenz, G. Riegert, and G. Busse University of Stuttgart – Institute of Polymer Testing and Polymer Science (IKP), Department of Non-destructive Testing, Pfaffenwaldring 32, D-70569 Stuttgart, Germany (zweschper@ikp.uni-stuttgart.de)
D. Scherling Airbus Germany GmbH, Huenefeldstrasse 1-5, D-28199 Bremen, Germany
http://www.ndt.net/article/ecndt02/249/249.htm

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Makkay, Imre

Design the Advanced Avionics for "FanWing" UAV

Abstract. The propulsion systems of UAVs are often categorized as "outlaw" compared to their full-sized manned brothers. The reason is understandable; watching such an attractive solution as the "FanWing" appeared in the UAV business 10 years ago. The revolutionary new principle of lift generation was presented at numerous exhibitions and air shows, won awards, appeared in science reports and popular journals. This paper summarizes the main results of development and tries to open new ways for future improvement on basic avionics, payload, and user-friendly applications.

Keywords: Cross flow fan, fluid dynamic lift, autopilot, fail-safe, optimal redundancy.

Introduction

The FanWing experimental aircraft opens up a new area of aerodynamics. Designs to establish a means of integral lift and thrust using a horizontal-axis wing rotor are recorded back as far as the late 19th century. Some of the experiments started to take off but did not sustain flight. The FanWing new blown-wing solution offers both basic proof of concept and a steady trajectory of improved and controlled flight performance.

The aircraft has a cross-flow fan along the span of each wing. The fan pulls the air in at the front and then expels it over the wing's trailing edge. In transferring the work of the engine to the rotor, which spans the whole wing, the FanWing accelerates a large volume of air and achieves unusually high lift-efficiency.

The FanWing showed proof of concept in the form of actual flights before theoretical validation, academic research or explanation. The FanWing is an invention by trial and error and though certainly employing a methodology with good precedent in the history of innovation it is in no way within the normal paradigm of academic and conventional aircraft development. There is nevertheless a steady accumulation of tests and supporting documentation.

The History

First wind-tunnel tests were conducted in 1998 by Pat Peebles at the University of Rome. Several universities have carried out work since then independently, notably two wind-tunnel projects for student dissertations requested and supervised by Professor JMR Graham at Imperial College, London, completed in consultation with Pat Peebles and based on prototype wings provided by the FanWing Company. Other wind-tunnel tests were also carried out independently in the Company workshop. A

UK Government SMART Award and private investment in 2002 funded a series of wind-tunnel tests for the Company providing a basis for construction of a new prototype. The Company series of test were completed at Imperial College with Klaus Kogler assisting FanWing inventor Pat Peebles and with data consultation by Professor J M R Graham.

Documented efficiencies for the first prototypes were found to be in the order of 20 grams of lift per watt of input power indicating an initial lift of 1 –1 ½ tons of weight in the air with 100 hp. These results are supported so far by test flights where the largest prototype model flew on repeated tests with almost instant take-off and with a 20kg take-off weight.

First manned FanWing Ultralight graphics based on Pat Peebles' specifications were commissioned by FanWing in 2005 from Jon Linney, KMi, Open University UK and funded by private investment combined with a UK Government Jumpstart Connect Award from the London Development Agency. The graphics triggered a new Imperial College Simulation project. X-Plane software was used to establish flight characteristics of the first manned FanWing Ultralight.. The simulation project based on Peebles' specifications and designs was completed by Oliver Ahad at Imperial College June 2006 and supervised by Professor J M R Graham with Pat Peebles as consultant.

A UK National Award, the John Barnes Award, offered by the Association of Aerospace Universities, was presented to Oliver Ahad for his FanWing Ultralight Simulation project. The dissertation can be requested from Imperial College. See also: *Flight simulation and testing of the FanWing experimental aircraft*; Authors: O. Ahad, J.M.R. Graham; Journal: Aircraft Engineering and Aerospace Technology ISSN: 0002-2667 Year: 2007 Volume: 79 Issue: 2

During the UK Government SMART-funded 2002 wind-tunnel experiments, initially small incremental increases showed a sudden 30% improvement, with raised flight speed and improved autorotation. Other experiments showed a corresponding decrease in efficiency with a separate government-funded project to produce a scaled-down micro FanWing in 2003.

In 2007 flight tests the STOL UAV surveillance prototype showed unusually short take-off ability, leaving the ground after a 1 m roll without payload and 3m on lower power (see video on this website and Flight Magazine online archives). It is estimated that at maximum weight (12 kg) the small surveillance aircraft could leave the ground in three lengths. The new prototype was developed as an urban surveillance UAV. The aircraft flies slowly and will be able to maneuver urban 'canyons' with take-off independent of a catapult. The efficiency of the aircraft indicates that it will have autonomy of close to 80 minutes with a 2 kg payload under electric power. The short-take-off capabilities make the application useful for operations originating from a rooftop or short section of road. The aircraft will be simple to dismantle and assemble for simple transport and deployment.

This model and the newest runway independent prototype mentioned below are both registered for flight demonstration for the first time in public at the next international ParcAberporth UAV event, Wales, UK; June 25th and 26th 2008.

Development of "Runway-Independent Aircraft" started in January 2005. First positive VTOL capability based on a new design was confirmed in November 2005 with workshop tests on an indoor tethered model. A new patent application was deposited April 2006 with PCT process registered March 2007. A series of linear short-take-off flights to establish basic performance parameters have been successfully completed during 2007 at varying thrust vector angles. Most recent tests December 2007 show first full circuit flights with linear tests confirming improvements in stability and hover capability. Plans now are to extend into new configurations to exploit promising results.

Technology

Abstract of patent Patric Peebles US 6,231,004 B1 May 15, 2001

An aircraft lifting member (wing) comprises a crossflow rotor 2 formed of a core 4 having vanes 5 mounted around it, disposed in a trough 3 at the front upper part of a wing-like body 1. Rotation of the rotor includes a downwardly and rearwardly directed airflow over the upper surface 6 of the wing-like body 1 generating both lift and thrust. The upper part of the rotor vane path projects above the upper surface 6 and the lift-generating member is open at the leading edge to expose the cross-flow 2 to the incident airflow.

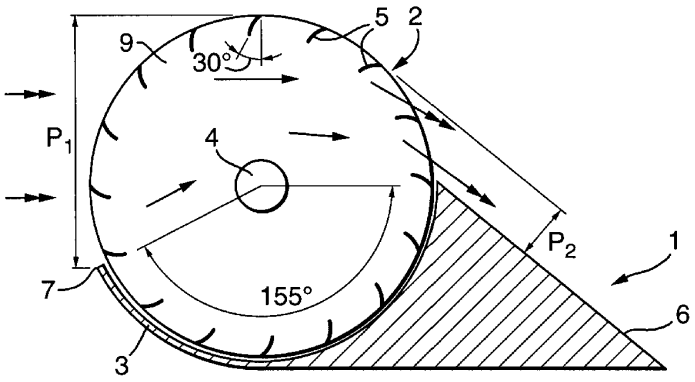


Fig 1. Fluid dynamic lift generator[1]

Applications

Unmanned Aerial Vehicles (RPV/UAV) UAV's are the fastest growing area in the aerospace industry, and design and manufacture of UAVs are an obvious first stage of FanWing commercial development. Easily adapted for use with either surface or ground-penetrating surveillance systems, applications include traffic control, irrigation/pest/fire/ecological surveillance, archaeological survey, mine-sweep and hydrology. The potential low sound emission of the aircraft has clear military, urban and environmental applications.

[1] Patric Peebles, Fluid Dynamic Lift Generation United States Patent 6,231,004 B1 May 15, 2001

Ultralight/Microlight aircraft In this potentially major commercial market, the FanWing is predicted as having no stall and simple controls.

Short-range freight delivery: the FanWing Sky-Truck FanWing opens a new market to compete with and complement truck and rail freight. Short-range freight delivery is seen as one of the largest and most fruitful long-term markets. The FanWing STOL capability and potential low sound are of particular interest here as are the new VTOL development possibilities.

Development of Advanced Onboard Systems – by NDU's principle

The ongoing stage of commercialization requires tailoring the FanWing match to airworthiness standards. The first serious challenge is to complete FanWing with more sophisticated guidance system – actually works by r/c remote control.

The research group at National Defense University, Budapest headed by author made a proposal for transformation FanWing an autonomous air vehicle. Members of this group took part in UAVNET (thematic network to advance the development of UAVs for civilian purposes), high qualified experts in air traffic management, airframe-, propulsion-, onboard electronics systems, and authors PhD dissertations (10 in last years: Kovacs L. 2003; Molnár, A. 2005.; Szegedi, P. 2005; Palik, M. 2007.; Wührl, T. 2008.; Turóczi, A. 2008.; Gácser, Z. 2008.; Restás, Á. 2008.; Koncz , M. 2009.; Horvath, Z. 2009.) connected to UAVs.

Our work is dividing for two main part:

1. The "general task" is to synchronize the highest requirement of controlled and even uncontrolled airspace with existing and future capabilities of UAV systems. The UAV means the biggest threat for air traffic when it is operating in commonly used airspace where (either civil or military) piloted air vehicles operate too. While during military flights the main objective is to execute the task successfully and flight safety is only secondary, in times of peace these aspects change places naturally.

There are researches going on in several countries in the world to eliminate the problems mentioned above and to make suggestions for legal, organizational and technical solutions. These days in our country there are already some UAV-s in operation and according to the forecasts there will be even a greater number of them in the future.

The key to the success of UAV systems lies in cheap operation, in little need for space and infrastructure, and last but not least in the trust that unmanned vehicles guarantee such high safety for humans that has never been seen before. Even if academic life argues with some of the pros of UAV, most of them agree with the fact that physical separation of human elements from hazard factors reduces the risk of special flight tasks which alone is a good argument for the application of such devices.

The separation of human elements from hazard factors does not mean that humans, as part of the UAV system, would not play a key role in the success of the system. It might seem a contradiction but unmanned systems cannot exist without human factors, „pilots". The crew, which operates, controls the UAV from a certain distance, might be called anything but their role and importance is primary and indispensable. The crew controlling the UAV (henceforth UAV pilot) has characteristics and skills which basically determine the quality and safety of the UAV system's operation.

Our recommendations applying FanWing UAV in civil defensive areas:

Disaster prevention and management

- detecting forest fires, monitoring during fire fighting and area watching after putting out fires;
- area watching prior to floods, monitoring the state of barriers during flood, rough damage survey after flood subsides;
- if dangerous substances leak and get out to define its extensiveness, to check calculations for the model of spreading and to monitor the area of impact;
- in case of a nuclear disaster to define the spreading of radioactive substances, to check calculations for the model of spreading and to monitor the contaminated area;
- detecting bird activities near airfields and surrounding area, to prevent collision with them.

Applications by police

- to supervise forests, to prevent and reduce theft significantly;
- to prevent illegal fishing and to reduce it drastically;
- using radar speed counter from air;
- monitoring drug trafficking.

2. Much more "technical challenge" is to create a high performance airframe and propulsion system – what the FanWing is – and fit the board with a reliable, robust and failsafe energy sources, engines and avionics. The fail-safe methods are used both civilian and military UAV systems (Fig.2.).

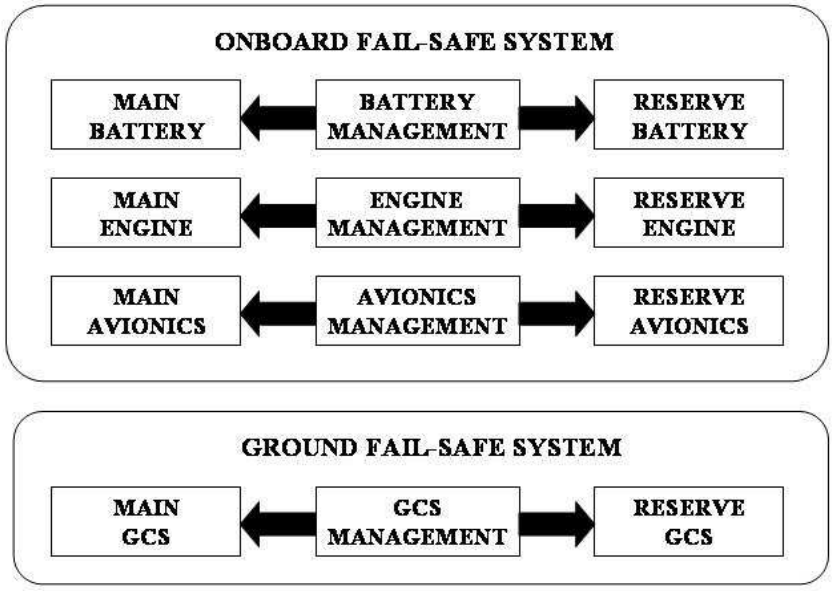


Fig. 2. Fail-safe onboard and ground control systems

The fail-safe principle is based on duplication of most important parts – for any case. The onboard and ground "health monitoring system" continuously check the worthiness of energetic, propulsion and avionics devices. In case of failure the main part the management system switch it off and on the reserve will provide the lost function.

At civilian UAV applications always "the safety is first" when at militaries mostly "the mission is first". From this fact the main/reserve proportion of components may be slightly different (Fig.3.).

	Civilian UAV	Military UAV
Battery	1 : 0.5	1 : 1
Engine	1 : 0.5	1 : 1
AVIONICS	1 : 1	1 : 1
GCS	1 : 1	1 : 1

Fig. 3. Main-reserve proportion of components

Reliability of UAVs highly depends on propulsion system. The main goal is to provide necessary thrust for mission and even if the main engine stops the mission should be completed – or finished by forced/emergency landing. The idea of fail-safe propulsion system is described on the Fig. 4. where two engines could work parallel or one of them and even if both is broken the electric motor/generator can tract/push the UAV for while safe landing.

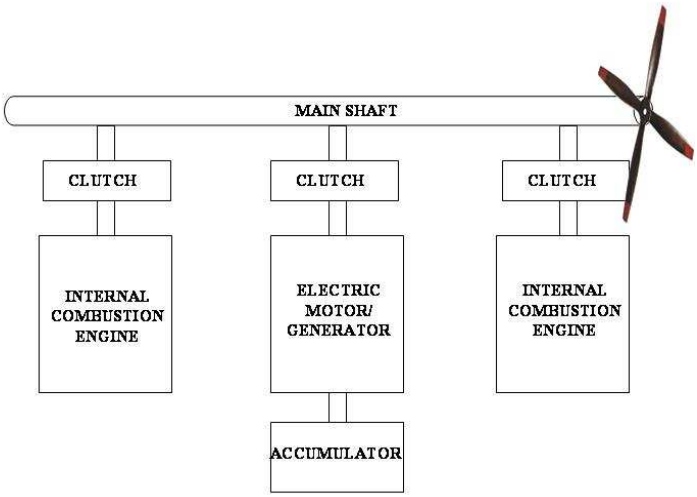


Fig. 4. Fail-safe propulsion system

The heart of UAV is the reliable autopilot. Although the r/c control sticks are similar to "normal" model airplane, the behavior is far not conventional. Perhaps that is why exploring the commercial autopilot makers (CloudCap, CrossBow Technologies, L3 BAI Aerosystems, Genova Aerospace, Micropilot, etc.) we still not have found such so called "ready for use" autopilot. Another option is to guarantee the maximum failsafe regime for large range of application. We have made numerous preliminary studies published in different forums. (Gacser, Z. et al. 2003.; Makkay, I. 2003.; Wührl, T. 2007., 2008.).

Concluding above the robust autopilot should have optimal redundancy of main sensors, ALUs and actuators. One of the possible variant of robust autopilot design is shown on the Fig. 5. where sensors and autopilots are duplicated and in case of differences the CPU is deciding which information will be denied.

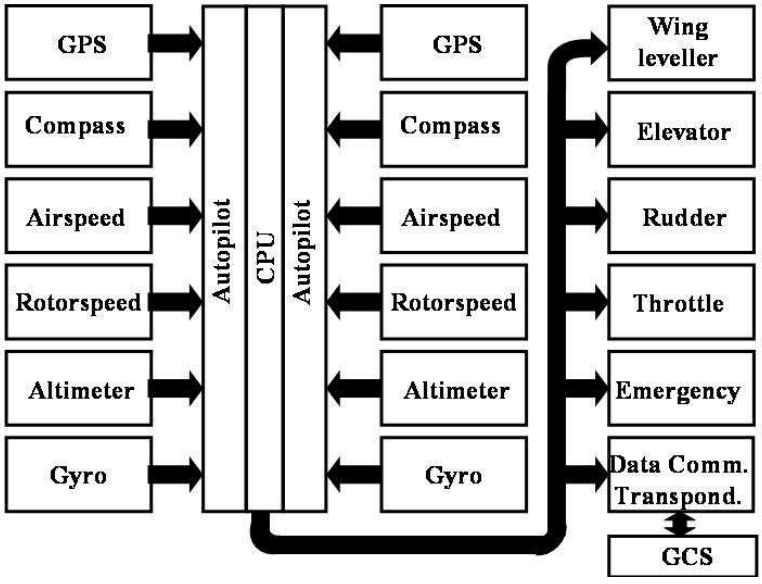


Fig. 5. Robust autopilot with optimal redundancy

For UAVs working in urban area especially important to be certified for emergency situation - duplicate of engine, avionics, battery, forced landing equipment and even ground control station. That is a common requirement for both civilian and military application.

CONCLUSION

The FanWing UAV is a unique solution by design and performance too. The extraordinary airframe capacity should be exploited along maximum safety and the same time reliability of whole system. Suggestions of NDU's researchers to build a robust and fail-safe avionics and propulsion (engine) system – based on long term experiences in theoretical and practical field.

ACKNOWLEDGMENT

Author appreciates the inventor of FanWing Mr. Patric Peebles for contribution and personal support to write this paper with written and oral information holding a lecture at last year's conference in Szolnok.

REFERENCES

Gacser Z.; Haig, Zs.; Kovacs L.; Makkay,I.; Molnar A.; Vanya L.; Vass, S. 2003. New Perspectives for Guidance and Propulsion Systems of UAVs, *NATO RTO AVT Panel Symposium Brussels*

Gácser, Z. 2008. A jövő katonájának harci képességeit növelő egyéni eszközök és rendszerek alkalmazhatósága a Magyar Honvédségben [Applicability of individual devices and systems that increase the combatefficiency of future soldiers in the Hungarian Army], PhD thesis, *National Defence University Military Technical Doctoral School, Budapest,* 130 p.

Kovács, J.; Szegedi, P.; Óvári, Gy. 2006. "Preliminary Design of Controllers for the Lateral Motion of an Unmanned Aerial Vehicle", *Transport Means 2006 Proceedings of the 10th International Conference, University of Technology, Kaunas,*. 328-331

Kovács, L. 2003. Az elektronikai felderítés korszerű eszközei, eljárásai és azok alkalmazhatósága a Magyar Honvédségben [Advanced devices and methods for electronic reconnaissance in the Hungarian Army], PhD thesis, *National Defence University Military Technical Doctoral School, Budapest,* 166p.

Makkay, I. 2003. How to escape engine failed UAVs. *UAVNET Meeting #6 Torino* Aviable from Internet: http://www.uavnet.com/DL/Document_Library/Turin_Meeting/UAV_Engine_fail_Makkay.pdf (28 sl.)

Molnár, A. 2005. A polgári és katonai robotjárművek fejlesztésében alkalmazott új eljárások és technikai megoldások [New methods and technical solutions applied in development civilian and military robot vehicles, PhD thesis, *National Defence University Military Technical Doctoral Schoo,l Budapest,* 130 p.

Szegedi, P. 2005. Repülésszabályzó rendszerek szabályzóinak számítógépes analízise és szintézise [Computational analysis and synthesis of control of flight control systems] PhD thesis *National Defence University Military Technical Doctoral Schoo,l Budapest* 130 p.

Szegedi, P.; Békési, B. 2006. "Preliminary Design of Controller of Longitudinal Motion of the Unmanned Aerial Vehicle using LQR Design Method", *Transport Means 2006 Proceedings of the 10th International Conference, University of Technology, Kaunas,* (324-327).

Szegedi, P.; Békési, B. 2008 Analysis of the Basic Signal Tracking Possibilities of an Altitude Stabilizing System, *Proceedings of the 12th International Conference, Transport Means, Kaunas,*. pp. 103-106.

Palik, M. 2007. Pilóta nélküli légi jármű rendszerek légi felderítésre történő alkalmazásának lehetőségei a légierő haderőnem repülő csapatai katonai műveleteiben [Possible ways of applying unmanned air vehicle systems for air reconnaissance in military operations of air-force service air-groups], PhD thesis ,*National Defence University Military Doctoral School, Budapest*,130 p.

Restás, Á. 2008. Az erdőtüzek légi felderítésének és oltásának kutatása, fejlesztése [Air survey to detect forest fires and to research and develop putting out fires], PhD thesis, *National Defence University Military Technical Doctoral Schoo,l Budapest,* 130 p.

Turóczi, A. 2008. Négyrotoros pilóta nélküli helikopter fedélzeti automatikus repülésszabályozó berendezései [Flight control devices for four rotors unmanned helicopter], PhD thesis, *National Defence University Military Technical Doctoral School Budapest,* 130 p.

Wührl, T. 2007. Safety Problems of Micro Size Unmanned Air Vehicles – On Board Data Fusion; *Academic and Applied Research in Military Science, Budapest* (reg.number:362/2007)

Wührl, T. 2008. Kisméretű pilóta nélküli repülőgépek biztonságtechnikája [Failsafe technology for small UAVs]], PhD thesis ,*National Defence University Military Doctoral School, Budapest*, 130 p.;

Koncz, M. 2009. A Meteor-3R célrepülőgép alkalmazása és elektronikai rendszerei, PhD thesis, *National Defence University Military Technical Doctoral School Budapest,* 130 p.

Horváth, Z. 2009. Digitális domborzat Modell alkalmazása a kis és közepes méretű pilóta nélküli repülőgépek biztonságának növelése, képességeinek fejlesztése terén, PhD thesis, *National Defence University Military Technical Doctoral School Budapest,* 130 p.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Makkay, Imre

"Avoid Aircraft Accidents" – EU FP7 Collaborative Project Proposal with participation Miklos Zrinyi National Defense University

Abstract. This paper is initiated by ongoing collaborative project proposal for EU FP7 made by ten participants from six countries. By our concept and objectives: many aircraft accidents still occur that could have been easily avoided. Causes of critical accident are classified in four main groups by the safety boards: Weather, Equipment, Systems and Human. The Hungarian research group, created from members of MZ NDU, Institute of Aviation and Air Defense and Institute of Informatics and Communication is deeply interested in success of project. By this paper we would like to inform and the same time call the experts, enthusiastic peoples to support us with their ideas, suggestions and proposals.

Keywords: Avoid, aircraft accident, automatic, aircraft health monitoring system, pilot skills.

Introduction

According to statistics many accidents, especially of small aircraft and less skilled pilots, are produced by the inadequate pilot reaction to a weather, equipment or system problem. The main cause is not the pilot itself, but avoiding the fatal consequence is only possible if the pilot is expert enough. The project will divided two main parts as increasing knowledge about root causes of accidents and derive the best practices, requirements for the avionics and procedures for pilots, and also proposing the new ICADS concept, which will function as "virtual copilot", surveillance the aircraft health and nearby airspace. As a human copilot, the ICADS will offer advises to the pilot on aircraft operations, like new routes, proper reactions to malfunctioning or maneuvers suitable for avoiding external hazards. [1]

Notice: further in this paper we will use and cite part of [1] project proposal often – without sign. The reason is the proposal was written by collective effort – in side Hungarian participants – but could not be familiar with large audience of other MZNDU members.

Progress beyond the state-of-the-art[1]

From its origins on late 1970s, avionics systems have increasingly evolved, especially in last years with the introduction of new aircraft like Airbus A380 or Boeing 787 Dreamliner. Mechanical, electromechanical and hydraulic control systems are decreasing in number while electronic systems are substituting them. Gauge based cockpits have evolved now to glass cockpit. Federated architectures move to Integrated Modular Avionics (IMA) architectures. And the main target of all these improvements is to improve aircraft safety.

Avionics components include voice communications, data communications, navigation information, collision avoidance alerts, health monitoring and maintenance logs, and the most advanced ones, the Flight Control Systems (FCS). A number of sensors are spread on board but also out of the aircraft to capture the required information. And an increasing number of displays that compose the cockpit are the interface of those systems with the pilot. The main cockpit components on a large aircraft are: EFIS (Electronic Flight Instrument System), which provides aircraft position (horizontal and vertical), time and speed; EICAS / ECAM, that Monitors engines and aircraft mechanical parts; And several awareness systems about weather (NEXRAD), airplanes in the airspace (TCAS / TPAS alerts), traffic on runways: AMASS, and terrain: GPWS / TAWS. Also a large number of proposals on new avionics and new concepts have been proposed to improve safety and pilot's awareness.

Most small aircraft usually flight only on VFR conditions. Avionics present on these aircraft are simple and cheap, most of the times limited just to the mandatory magnetic compass, barometric altimeter, anemometer and chronometer. When flight is done on controlled airspace, aeronautic radio and transponder might also be present.

Figure 1. Mandatory instruments for VFR[2]

In recent years the reduction of prices on GPS based navigators has produced the incorporation of these systems. Garmin AereaTM or GPSMAPR are examples of last GPS portable equipments for aircraft. For less than three thousand euros they provide the position of the aircraft in an aerial 3D map, and also the vertical profile of the terrain and its obstacles with awareness in case of few separations. Also real time weather information, or air traffic alerts are included in the most expensive portable navigators.

[1] Part of 1.2. chapter of proposal - describing very deeply the background of general aviation completed by authors S. Fassois, G. Notarstefano and others.
[2] Figure (1.4.) from AAA-ICADS proposal

Some projects which started for large aircraft, like the tunnel-in-the-sky system proposed by Delf [http://www.tudelft.nl], have been adapted for small aircraft. This project in particular developed the Delphins Synthetic Vision system to display a tunnel for secure navigation approaching to an airport. A similar concept is what the project AAA targets, but focused on aircraft which is already or very close to a hazard. The project extends the state of the art in several technologies and research areas, since the hazard causes and consequences can be diverse:

State of the art and advances in Aircraft Health Monitoring

In flight vehicles, where failures may result in loss of life or loss of a high-value asset, safety and reliability are the two principal goals to be achieved. The designer of avionics and associated aircraft systems must ensure that each such critical device has the capability of providing its function without significant interruptions, for maintaining the operability of the general system and, accordingly, the aircraft airworthiness. This mission is even more crucial, given the non-ideal operational environment of avionics (vibrations, humidity, electrical transients and so on), and their complexity which sometimes results in design or implementation faults. For this purpose, specific modules are designed to diagnose (that is, detect and identify) faults in avionics and critical systems, and provide help (in form of the flight control reconfiguration) for supporting the operational level of the overall system. Additionally, all major avionics and aircraft systems are designed to provide fault-tolerant operation, meaning that they may sustain a certain degree of fault occurrence while still functioning acceptably.

This diagnostic and fault-tolerant framework is implemented for critical actuators, sensors and digital avionics via the physical redundancy principle, that is, the introduction of parallel hardware devices performing the same action. Hence, if one of the devices is affected by fault(s) it is easily detected (via comparison with the rest of them) and its output can be disregarded. Note that, especially for avionics, emphasis is given on producing the necessary signals from dissimilar redundant computers. Thus, situations with failures which could affect near simultaneously copies of a specific redundant computer due to a single cause (a situation referred to as common mode failure-CMF) can not happen. Nevertheless, the hardware multiplication has its limits due to cost and added complexity. Hence the physical redundancy strategies may ideally, be complemented by novel FDI and reconfiguration schemes based upon the principle of analytical redundancy. This stipulates the effective use of available measured signals along with decision-making algorithms, in order to cost-effectively deliver diagnostic results, without additional hardware. The intensive research conducted over the past years on the creation of analytical redundancy (supported by various NASA grants or European Commission projects), has resulted in several relevant schemes.

One class of such schemes is based on the Interactive Multiple Model (IMM) [2], the Multiple Model Switching and Tuning (MMST) [3] or Neural Network (NN) based [3] principles: In all schemes, specific dynamics are represented in healthy and various faulty states of the examined aircraft system via either Kalman filters (IMM), linear adaptive models (MMST), decentralized neural networks [4]

and so on. Measuring the deviation between the "current" dynamics and those described by each one of the health state-related models, ensure detection of the system's health state (and reconfiguration for the MMST and NN based schemes). Other relevant schemes are based on the modeling of relationships among specific available flight data (attitude signals, angle-of-attack and so on) via stochastic nonlinear models with constant [5] of time-dependent [6] coefficients. These relationships are valid only for an aircraft in nominal (healthy) state, meaning that when single or multiple faults occur, changes are induced in these relationships. Then, in-flight comparisons of the nominal and the current aircraft dynamics provide fault-related information, which is statistically evaluated for FDI purposes. Finally, nonparametric schemes (that is, not based on modeling of aircraft system dynamics) have also been proposed, often for the detection of sensor abrupt faults [7]. Such schemes process sensor signals (Angle-of-Attack in [6]) by non-stationary removal, outlier removal, whitening and so on via suitably estimated filters. Hence, any fault-related information is exposed and may be assessed via statistical decision-making or threshold strategies.

State of the art in Sensing Technologies

Electro Optical (EO) and Infra Red (IR) sensors are used in all types of aircraft and helicopters for the surveillance. In recent years they were incorporated in the "sense and avoid" systems of the military aircraft. These systems are powerful but they require on board complicated FPGA electronic devices and they are too heavy for the small aircraft. In the period of several years increasing air traffic is expected to be pushing the safety separation distances on common aerospace in Europe. In order to provide the safe operations of all demanding aircraft in this new environment it is necessary to increase of their outside sensing capability. Several important new EO/IR devices that have been developed in recent years may be used for this purpose. NASA Langley Research Centre developed a visualization method that is projecting on the screen inside the pilot helmet images from the camera that is installed in the aircraft nose. The system is designed in such a way that does not overload pilots with information, undercutting their "situation awareness" by giving them too much to track. Many light weight gyro-stabilized EO/IR sensors with pan, tilt remote control are commercially available and have been proven in flight. Also light weight laser range finder devices have been developed and are commercially available. In the project we will investigate the best configuration for a good image capture and later process.

State of the art and advances in Automate Reactions

The great development of electronic devices assisting pilots in aircraft guidance in the last fifty years has tremendously increased the aircraft capabilities and safety. Still, very many unpredictable "unpredictable disturbances" may interfere with the aircraft system and cause accidents. In order to prevent such unpredictable events and even more to be able of reacting to them it is crucial to have

automatic procedures to assist the pilot and (maybe in a not so far future) help or substitute him in recovering the aircraft.

For this purpose computer aided engineering (CAE) becomes a key tool to perform testing on virtual aircrafts in order to explore the dynamic capabilities of an aircraft before building a real prototype. The possibility of testing solutions on virtual prototypes allows a great reduction of costs and time to market. Using virtual prototypes it is possible to test the aircraft capabilities at their limit conditions by exploring the trajectories that the aircraft can perform.

In order to perform this kind of analysis, advanced control algorithms must be developed that are able to autonomously fly aircraft. The literature on flight control is quite vast, see [8] for a survey, however most of it concentrates on how to control low level actuators in order to have desired high level control commands (e.g. angle of attack or roll angle). Theoretical and numerical techniques have been proposed and studied in the last years to design control laws for non-stationary maneuvering of aircraft, [9][10], and in some cases they have been tested on real test-beds [11][12].

A different point of view that will be considered in this project is the design of control strategies to explore the dynamic capabilities of the aircraft. In other words, the purpose of designing control strategies is not just to fly an aircraft, but to understand what maneuvers, in particular most aggressive ones, it can perform. An important contribution to explore maneuvering capabilities of flight vehicles comes from optimal control. Numerically robust techniques to solve optimal control problem have been developed in recent years [13] and have been applied to simplified planar models of aircraft to study their dynamics capabilities even in the presence of input and state constraints [14].

Concept and objectives[3]

Many aircraft accidents still occur that should or could have been easily avoided. This happens in spite of the multiple advances in structures, technologies, ATC automation and tight safety regulations. The accidents and fatalities are timidly having a regressive chart and this behavior is even better if we consider the increasing number of flights scheduled today in the airspace (increasing rate of 5% every year). Some of these accidents (15%) are originated by non scheduled flights, mainly domestic flights belonging to small airliners, private jets or training flights.

Classification of the most critical accidents, as done by the safety boards, results in four main groups: Weather, Equipment, Systems and Human:

- Bad weather conditions affect:

Visibility (heavy clouds, fog, rain)

Flight stability (severe winds and turbulence)

Runway slippery conditions (rain, fog, ice)

On board electronic systems (lightning, storms)

[3] Part of 1.1 chapter from AAA-ICADS proposal

- Equipment hazard are given when:
  Old, malfunctioned, improper, unsatisfying, missing
  New assembled or installed if short testing or not enough training
  Inadequate (sensors, means of warning, redundancy)
  Improper maintenance
- System failures include:
  Engine(s), fuel
  Actuators, structure, hydraulic (landing gear, flaps)
  Avionics (flight management system, sensors), electrical subsystems
- Human errors, as main cause, are:
  Pilots
  Health problems
  Incorrect understanding and reaction
  Slow reaction

The human reaction is decisive in many incidents caused by the former three causes. The pilots long training and their strict physical and psychological tests are the best guaranties for the aircraft safety in hazard conditions. Pilot's caution is assumed to avoid bad weather conditions, pilot's expertise and intuition for overcoming equipments malfunctioning, pilot's wisdom to understand systems failures. But many accidents, especially of **small aircraft** and **less skilled pilots** are produced by the inadequate pilot reaction to a weather, equipment or system problem. The main cause is not the pilot itself. But avoiding the fatal consequence is only possible if the pilot is expert enough.

This project will address small aircraft defined as light aircraft that would be certified with the CS23 regulation. This include some light jets (as the Cessna Citation Mustang, the Eclipse 500, the Embraer Phenom 100 or the Spectrum the independence S.33), some turboprops (as the Partenavia P68C or the Cessna Caravan) and some propeller driven aircraft (as the Cessna 350).

In particular we will target those aircraft certified to operate with a single pilot. The minimum requirement for this pilot is to hold a Private Pilot License (PPL), while for commercial operations the pilots must have at least the Commercial Pilot License (CPL) and for many aerial works usually they hold an Instrument Rating (IR) qualification, which allows the flight on Instrumental Meteorological Conditions (IMC). An airline qualified pilot, which holds an Airline Transport Pilot License (ATPL), will usually go through all these licences before obtaining the required flight hours and experience, complementing them with a Multi Crew Cooperation course (MCC).

For our project we will consider as less skilled pilots to those that are in “The Killing Zone” as defined by Paul A. Craig in his book “How and Why Pilots Die”. This is, the pilots with less experience which have a total number of flight hours in the range of 50 to 350 hours. At the moment of obtaining a PPL the pilot may have 50 to 60 flight hours. For the CPL the pilot must have 200 hours of flight time, crediting 100 hours as pilot-in-command, 20 hours of cross-country flight, 10 hours of

instrument instruction and 5 hours of night flight time. The IR requires at least 50 hours of cross-country flight time as pilot-in-command and the theoretical knowledge of the pilot will be increased with instrument navigation courses. All of these general aviation licensed pilots can be inside the "Killing Zone". The skills of these recently qualified pilots are far from the skills of a pilot with an ATPL with the 1500 hours required to obtain the license.

And these less skilled pilots are flying in small aircraft usually without a copilot. Moreover, their aircraft usually are less equipped than commercial airline planes. Also, the aerodromes they use have not always long, wide, and well lit runways. Finally, small aircraft have less range, thus the number of takeoffs and landings per flight hour are higher than in commercial aviation. Since takeoff and landing are more hazardous than cross country flight, they are more exposed to risk. These are also general reason why these pilots do have higher rate of fatal accidents (see figure below) and why we propose a new supporting device which might be useful to help them to deal with non nominal situations.

The approach of the Avoid Aircraft Accidents Innovative Capabilities and Automatic Diagnostic Systems (AAAICADS) project is to propose a new innovative onboard capability, similar to a "virtual copilot", to help less skilled pilots in hazard situations. The functions of the "virtual copilot", which we name ICADS, are to Automate Diagnostic on aircraft health and on nearby airspace to notify possible hazard in advance. As a human copilot, the ICADS will offer also some advises on the aircraft operation, like new routes, proper reactions to malfunctioning or maneuvers suitable for avoiding external hazards.

The project focuses on small size aircraft operating in nonscheduled flights facing unforeseen situations and has a "double layer" approach:

LAYER 1: Increase of knowledge

Research about the root cause paradigm and the pilot responses to derive conclusions on best practices, requirements for the avionics and procedures for pilots.

The foreseen activities starting from (input) historical data and with the active participation of pilots are:

- Filtering accidents to be specific for flight operation of small size aircraft operating in nonscheduled flights
- Deriving one root cause by fault tree analysis. Name the failed avionics "component", the incorrect maneuvers, the weather condition, etc.
- Creating similar situations in a flight simulator facility.
- Analyzing of pilots reaction in the simulator and classification of their consequences

LAYER 2: New ICADS concept proposal

Research and proposal of a new automate system capable of detecting a possible failure situation before it appears and advise the pilot within a failure flight mode. A criticality analysis of both functions and of their effect will derive the safety requirements.

The specific activities of this layer are:

- Proposing new automatic diagnostic systems for small aircraft (low weight, low cost) which, based in virtual sensor concept, EO/IR sensors, and voice radio, will provide the pilot with continuous health monitoring of structure and awareness of air space.
- Exploring aircraft capabilities to identify safe regions of operation via trajectory optimization in case of failure
- Propose new automation capabilities for future implementation in the area of accident avoidance, supporting less skilled pilots to manage unforeseen situation

In particular, we want to provide strategies, tools and instruments to prevent novel pilots of failures or hazards in advance and to promptly advise him/her with the proper reaction to the failure as a copilot will do if were there. Major technical objectives to be targeted are:

- Assessment of new means adequate to prevent small aircraft accidents
- Propose new operations or procedures for certain type of accidents
- Add failure early detection systems suitable for small aircraft, based on the detection of strange behavior (tendency) of the aircraft
- Study Human Machine Interaction (HMI) issues: coordination between pilot's actions and responsibility and automatic advisories.

Methodology

The work plan has been divided in 7 Work Packages (WP) as shown in figure 1.5, that extend during 36 months. There is one Management WP which corresponds also with the General Assembly Board and a Dissemination WP. The other 5 WP are devoted to research and Development (RTD).

The temporal planning starts with an assessment work package (WP2) that studies the last decade accidents occurred to small aircraft, analyses the pilot reactions during accidents, and looks for the root causes and list the critical items of accidents. Even more, the "by-book" pilot actions are assessed in the environment of the "state-of-the-art" technology and equipment. Then a representative list of accident scenarios will be prepared in WP2 to be used as a test-bed of later WP.

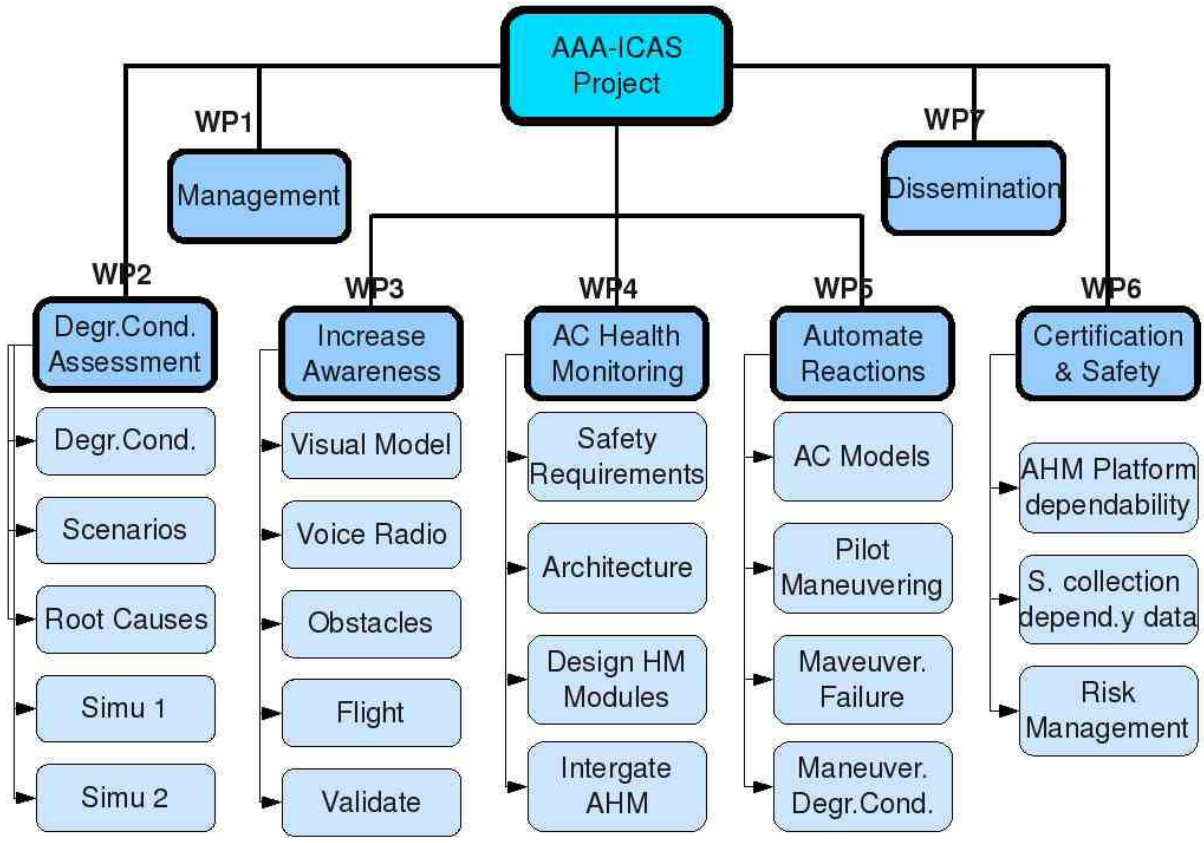


Figure 2. Work packages[4]

New methods and solutions are on WP3, 4 and 5: WP3 will obtain environmental data by real flights and will propose new image processing algorithm and transmission protocols for increasing awareness of pilots; The development of an integral Aircraft Health Monitoring (AHM) platform on WP4 is expected to influence at least the signal availability and the modular framework of current avionic systems; And WP5 will study the limits of maneuverability in case of downgrade conditions from a general description of the aircraft aerodynamic model, to better advise the pilots in hazard situations.

A key result of WP3, 4 and 5 is to anticipate the new levels of safety required in a world of rapidly growing air transportation and to translate them into tangible, cost-effective

Technological applications to be integrated in the aircraft of the near future. Simple as it may sound, this result requires a thorough reconsideration of the chain of events involving design, development and integration process. WP6 will deal with the safety assessment and certification process of the new proposed concepts on avionics systems.

Finally, WP7 will lead the Dissemination of the work done. Since most of the work is research done at Universities and research centers, the Dissemination will be mainly done at conferences and scientific publications. Of course, WP7 will manage the web site and the Deliverables.

[4] Fig. (1.5) from AAA-ICADS project proposal

Relation of Partner Expertise

1 The role of project coordinator is upon the Technical University of Catalonia (**UPC**), a institution with huge experience in European projects participation and coordination, being last year the seventh European institution regarding its participation in the FP7. In the year 2008 UPC has obtained participation in 29 new projects (6 as coordinator) with a total budget of 7.9M euros. The administrative department (the CTT) is composed by 20 professionals on project management who deal with 144 projects during last year. The role of UPC in the project is to leader the project, which UPC has large demonstrated experience. In the technical part, UPC will be involved in all work packages except for the certification one, with major involvement in WP3 about awareness increasing.

2 IAI is leading the central project work package (WP2: Degradated Conditions Assessment). In this work package the specific accidental situations are going to be selected and reconstructed in a flight simulator. The expertise of an enterprise for this WP will lead to a realistic and practical approach, in particular for demonstrating results on a simulator. The exploration of new automated systems should be directly an important result to exploit for IAI and its industry partners. IAI has also an active participation in WP4 and WP6, and in Dissemination.

3 In the project **IAS** will lead the working package on awareness (WP3). This topic fits into the department of navigation and control systems, where microcontroller based systems are designed and manufactured using FPGA platforms for real time. Software development for on board camera images recognition and their integration with data from on board avionic and sensors systems is the main target of this work package, expertise on which they have from their current projects on UAS and sense&avoid techniques. The IAS facilities, located next to the civilian airport, with access to the runway and stateoftheart equipment will be used to obtain real flight images of conflicts to be processed on WP3. IAS is also actively involucrated in WP4 and in Dissemination.

4 The **PATRAS** participants are expert on structural health monitoring systems for diagnosing and in the project they are leading the WP4, where an aircraft health monitoring will be proposed for small aircraft using novel virtual sensors techniques. They will be also involved in WP5 since they also have interest in re configuration systems following a damage; And on WP2 to investigate the causes of degradated conditions for reducing accidents.

5 The Italian Aerospace Research Center (**CIRA**) specific competencies joining the project are on automated systems reliability and certification acceptance. This topic is covered by WP6, which CIRA leaders. CIRA will also be involved all the other RTD work packages, since certification issues attain to all proposed concepts, but will mainly participate also in the WP2, where fault tree analysis will be applied to accident data base to obtain the root causes of accidents.

6 CRANFIELD University has a large experience on the generation, dissemination and application of knowledge in engineering, applied science and manufacturing. In the project the lead WP7 on

Dissemation and will also participate in WP2 and WP6 on the causes and consequences of the developed technology.

7 The **NDU** is a Hungarian University at Budapest with a large history on military formation. The research group that joins this project is working on airframe design, and its onboard sensors. And in the project they will join mainly WP4 proposing health monitoring sensors which adequate to small aircraft.

8 ENAC represents National Aviation Authorities in the project, and will contribute in WP2 to the inventory of accidents and incidents, but will collaborate mainly in WP6, commiting the Risk Assessment activities for the use of proposed systems. They will contribute to build Safety requirements and Certification specification, assessing innovative components shortcomings and deriving mitigation to shortcomings. The project will enforce the recommendations issued by the National Flight Safety Agency.

9 The **UNILE** group has expertise in the area of control engineering and robotics, involved in modeling and control of dynamical and embedded systems. They will leader WP5 on automated reactions and maneuver advisory based on exploring dynamic capabilities of aerial vehicles. By means of control and optimization theory, they suggest stable maneuvers when a fault diagnosis activates. UNILE will also participate in the rest of work packages except on the certification, with major involvement in the WP3 and WP4.

10 The **COPAC** represent end users and their main task in the project is to help in the assessment of accident reconstruct in the simulator and on flying the simulator in the hazard situations, all inside WP2. Also contributions expected from pilots is their feedback about the use of novel devices and their cockpit displays for awareness and maneuver advisory.

Hungarian participants and they role in AAA-ICADS project

The “Miklos Zrinyi” National Defense University takes part in project with members of Institute of Aviation and Air Defense, Institute of Informatics and Communication of „Janos Bolyai” Military Technical Faculty.

Brief description of the organization:

“Miklos Zrinyi” National Defense University (MZ NDU) was established in 1996 when two military academies integrated, and later the military technical academy also joined this institution. It has 2 faculties: Military Science Faculty and Military Technical Faculty. It is the only military institution in Hungary where officers’ training takes place. MZ NDU is an independent legal institution directly subordinate to the Minister of defense. It is located in Budapest and Szolnok. The University has many scientific researches on the fields of military technology such as defense electronics, aviation, and unmanned aerial vehicles. These research activities include basic and applied researches, tentative developing, technological transfer and those participants who are involved in the field of technological

innovation, their professional knowledge, publications and achievements thanks to the researches made in cooperation with universities and other external institutes.

Main tasks attributed in the project

WP1 – Management – project steering, management and coordination

WP3 – Increase of Awareness – participating in tasks on visual models and models of obstacles

WP4 – Design of health monitoring platform – concepts of operation and development of HM modules

WP6 – Certification and safety – supervision of dependability data

Previous experience relevant to those tasks

The faculty of Electronic Warfare has been publishing academic writings and been organizing scientific conferences like the Robot Warfare conference. The Institute of Aviation and Air Defense continuously publishes academic writings (Aeronautics Announcements online journal), organizes scientific conferences every year in April on the occasion of the day of Aviation and Astronautics. The MZ NDU was an active partner in the European Union launched UAVNET project. The UAVNET focused on the technical research and development of unmanned aircraft to be used in civil aviation in European airspace, dealt with flight safety and economic issues of usage, and to form regulatory provisions for their application. The MZ NDU held a numerous lectures and was a host of meeting in Budapest. At the MZ NDU Military Technical and Military Science PhD School there are ten PhD students after dissertation whose topics are directly connected to the issues of unmanned aviation.

Short profile of the staff members/key experts

Prof. Dr. Imre Makkay engineer colonel retired holds a CSc on Military Sciences. He is working as a teacher since 1987 for MZ NDU. Actual job is professor at IAAD Department of Onboard Devices and leading a research and development group directed to Advanced Wildlife Monitoring and Control at Airport/Airfield Areas.

Dr. Laszlo. Vanya engineer lt. colonel holds on PhD on Military Sciences. He is working as associate professor and head of Institute of Informatics and Communication and Information Operations and Electronic Warfare Department. He is leading a research and development group directed to Advanced Electronic Warfare Devices.

Dr. Laszlo. Kovacs engineer major holds on PhD on Military Sciences. He is working as a teacher since 2002 for MZ NDU. Actual job is associate professor at Information Operations and Electronic Warfare Department of Institute of Informatics and Communication – besides them he is leading a research and development group directed to Advanced Information Operation Technology and Strategy.

Contact Person Imre Makkay Phone: +36 302 918 916 Email: drmi48@tonline.hu

Concluding remarks

The “Miklos Zrinyi” National Defense University takes part in EU7 project with very strong and honorable partners. However the proposal in stage of evaluation the great work was done before issue the document. We appreciate all participants first of all the UPC members for co-operative team-work, professionalism and toughness. We have learned a lot in this joint effort and hope for further collective activity.

Author – who is novice in general aviation – expresses his acknowledgement for opportunity to take part in this project, also for assistance and support of University’s colleagues.

REFERENCES

[1] THEME 7: TRANSPORT (INCLUDING AERONAUTICS) Collaborative Project Proposal for Call FP7AAT2010RTD1 AREA 7.1.3.3. AIRCRAFT SAFETY Objective: AAT.2010.3.33. Avionics Project Title: Avoid Aircraft Accidents Innovative Capabilities and Automatic Diagnostic Systems Project Acronym: AAA ICADS

[2] C. Rago, R. Prasanth, R. Mehra, and R. Fortenbaugh, “Failure Detection and Identification and Fault Tolerant Control Using the IMMKF with Applications to the EagleEye UAV,” in Proc. 35th IEEE Conference on Decision and Control, Tampa, FL, 1998.

[3] J. Boskovic and R. Mehra, “MultipleModel Adaptive Flight Control Scheme for Accommodation of Actuator Failures,” J. Guidance, Control and Dynamics, vol. 25, no. 4, pp. 712724, 2002.

[4] M. Napolitano, Y. An, and B. Seanor, “A Fault Tolerant Flight Control System for Sensor and Actuator Failures Using Neural Networks,” Aircraft Design, vol. 3, no. 1, pp. 103128, 2000.

[5] D. Dimogianopoulos, J. Hios and S. Fassois: FDI for Aircraft Systems Using Stochastic Pooled NARMAX Representations: Design and Assessment. IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 6, no 11, pp. 13851397, 2009.

[6] D. Dimogianopoulos, J. Hios and S. Fassois: Aircraft Fault Detection and Identification by Stochastic Functionally Pooled Nonlinear Modelling of Relationships Among Attitude Data. Proceedings of IMechE, Part G: Journal of Aerospace Engineering, vol. 222, no 6, pp. 801816, 2008.

[7] P. Samara, G. Fouskitakis, J. Sakellariou, and S. Fassois, “A Statistical Method for the Detection of Sensor Abrupt Faults in Aircraft Control Systems,” IEEE Trans. Control Systems Technology, vol.16, no 4, pp. 789798, 2008.

[8] M.L.Steinberg, “Comparison of Intelligent, Adaptive and Nonlinear Flight Control Laws”, Journal of Guidance, Control and Dynamics, Vol. 24, No. 4, JulyAugust 2001.

[9] Ali Jadbabaie, and John Hauser, “Control of a thrustvectored flying wing: a receding horizon LPV approach”, Int. J. Robust Nonlinear Control 2002; 12:869–896.

[10] S. A. ALHIDDABI, N. H. MC CLAMROCH, “Aggressive longitudinal aircraft trajectory tracking using nonlinear control”, Journal of guidance, control, and dynamics, Vol. 25, NO 1, pp. 2632, 2002.

[11] M. B. Milam, R. Franz, J. E. Hauser, R. M. Murray, “Receding Horizon Control of a Vectored Thrust Flight Experiment”, IEE Proceedings on Control Theory and Applications, Vol. 152, Issue: 3, page(s): 340348, 2005.

[12] S. Waydo, J. Hauser, R. Bailey, E. Klavins, and R. M. Murray, “UAV as a Reliable Wingman: A Flight Demonstration”, IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, VOL. 15, NO. 4, 2007.

[13] J. Hauser. “A projection operator approach to the optimization of trajectory functionals”, in 15th IFAC World Congress, Barcelona, 2002.

[14] G. Notarstefano, J. Hauser, and R. Frezza. Computing feasible trajectories for controlconstrained systems: the PVTOL aircraft. In IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems, Pretoria, SA, August 2007.

Micskei Tibor–Dudás Levente–Seller Rudolf

CRCS ALAPÚ RADAR TESZTER FEJLESZTÉSE

A légiirányításban használt primer radarok igen összetett szerkezetek, melyeknek megbízható pontos működése létfontosságú feladatuk teljesítése szempontjából. A rendszer felépítése következtében eddig egyes részeit nem, vagy csak igen jelentős munkálatok árán voltak képesek működés közben tesztelni a radar üzemeltetői. Ezt a feladatot hivatott megoldani a HungaroControl számára készülő radarteszter eszköz, melyet a BME Szélessávú és Mikrohullámú Távérzékelés Laboratóriuma fejleszt.

A RADAR HATÁSOS KERESZTMETSZET

A továbbiakban feltételezzük, hogy az olvasó tisztában van a radarok alapvető mérési és működési módszereivel [1]. Ezek ismertetésére a továbbiakban nem térünk ki.

A radar hatásos keresztmetszet (Radar Cross Section - RCS) annak a mérőszáma, hogy egy tárgy mekkora mennyiséget sugároz vissza az adott irányból érkező elektromágneses jelből. Ez az érték sok anyagi és az adott mérési esetre jellemző paramétertől függ, ezért volt célszerű bevezetni rá egy könnyebben kezelhető mennyiséget, az RCS-t.

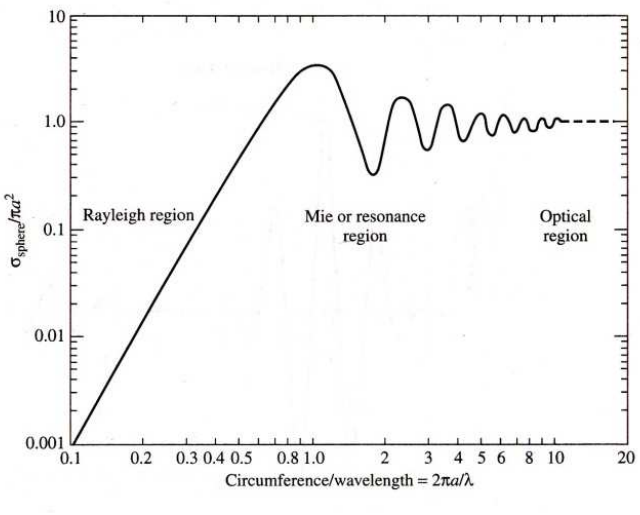
Ez a mérőszám még a következőképpen is definiálható:

$$\sigma = \frac{\text{A radar irányába visszasugárzott teljesítménysűrűség}}{\text{A céltárgyhoz érkező teljesítménysűrűség}} = \lim_{R\to\infty} 4\pi R^2 \frac{S_r}{S_t} \qquad (1)$$

ahol S_r az echo teljesítmény sűrűsége a radarnál, S_t pedig a teljesítménysűrűség a céltárgynál. Ez esetben feltételezzük, hogy a radar és céltárgy közti távolság eléri azt a mértéket, mely esetén az EM hullám már síkhullámnak tekinthető. Így a kapott eredmény egy felületelemet jelöl, mértékegysége négyzetméter. Szokták még dBsm-ben is megadni az RCS értékét, ez a m^2-re vonatkoztatott dB értéket jelöli.

Az RCS értéke nagyban függ a céltárgy hullámhossz értékéhez viszonyított méretétől. Ezen viszony alapján három zónát különböztetünk meg. Abban az esetben mikor a λ értéke jelentős a vizsgált objektumhoz mérten azt mondjuk, hogy e tárgy a Rayleigh szórási zónában esik. Ekkor a σ értéke jól jellemezhető a frekvencia negyedik hatványával. Ilyenkor a céltárgy mérete jobban befolyásolja a mérés eredményét, mint az alakja. Mikor a hullámhosszhoz csekély a tárgy geometriai méretéhez képest akkor az optikai zónában van, ez esetben a σ értéke jóval nagyobb mértékben függ a cél alakjától (rálátás szögétől), mint fizikai méretétől. E két zóna közt helyezkedik el a rezonancia zóna, mikor a hullámhossz összemérhető a cél fizikai paramétereivel.

A három zóna a következő ábrán látható egy vezető fémgömb esetére (1. ábra).



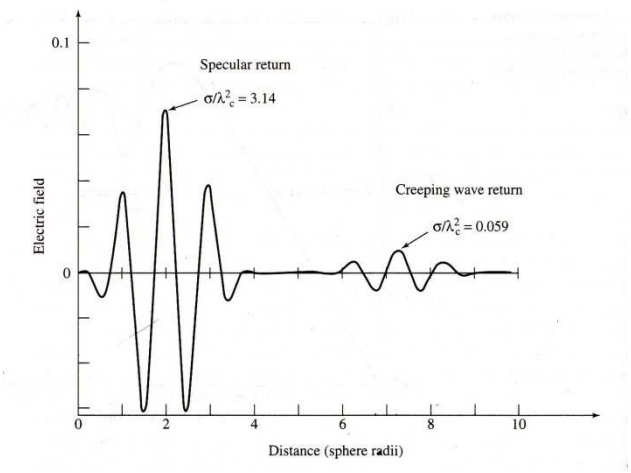
1. ábra Gömb normalizált RCS értéke [1]

Egyszerű felületek

Egyszerű felületek például a gömb, henger, egy lapos felület, kúp, vagy a rúd. Néha komplexebb céltárgyak RCS-e leírható ezek, mint építőelemek segítségével.

A gömb

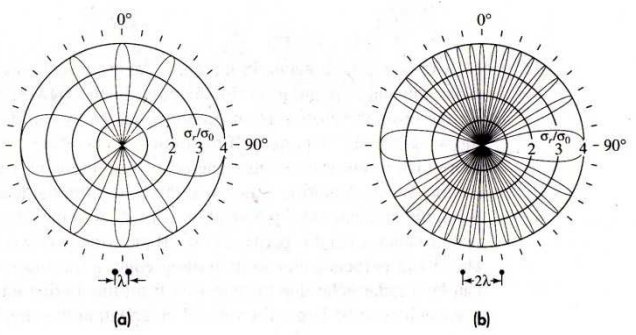
A gömb az a felület, mely a legegyszerűbb a radar hullámok visszaverődésének bemutatására. Minden irányból egyformán látszik, és ugyanúgy sugároz. Az RCS-ét az 1. ábra mutatja $2\pi a/\lambda$ függvényében, azaz a kerületet a hullámhossz függvényében ábrázolva, ahol *a* a sugár. Az ábrát a kivetített fizikai felület mértékével, πa^2-tel normálták. A három zóna jól látható az ábrán. Mikor $2\pi a/\lambda > 1$ (Rayleigh zóna) az RCS értéke a frekvencia negyedik hatványával arányos. Ha $2\pi a/\lambda \gg 1$ (Optikai zóna) esetén az RCS megközelíti a céltárgy fizikai felületének méreteit. Az optikai esetben a visszaverődés nem a teljes felületről, hanem annak csak egy részéről verődik vissza, mint mikor egy fém gömböt fotózunk vaku segítségével. A rezonancia zónában az RCS $2\pi a/\lambda$-nak megfelelően oszcillál. A radar keresztmetszetben a frekvencia megváltozása során fellépő ingadozások oka az, hogy nem egy, hanem két hullám verődik vissza, egy *direkt* és egy *kúszó* (*felületi*). Az első a gömb radarhoz közelebbi felületéről tér vissza, a második megkerüli a gömb felületét és csak azután tér vissza. Minnél hosszabb ez az elektromos út, annál kisebb lesz a keresztmetszet fluktuációja (2. ábra).



2. ábra Egy vezető gömb felületéről visszavert jel [1]

Összetett felületek

Az olyan összetett felületek RCS-e, mint repülők, hajók, földi járművek jelentősen változhat a rálátás szögétől és a használt frekvenciától. Egy komplex céltárgy mindenegyes visszaverő felülete saját echoval rendelkezik, amit jellemezhetünk az amplitúdójával és a fázisával. Ezek a jelek összeadódnak a radar jel vétele során és így alkotják a teljes echot. Ha ezek egymáshoz viszonyított helyzete vagy a rálátási szög változik, az változást jelent az echo fázisában.



3. ábra Két egyforma gömb esetén az eredő RCS [1]

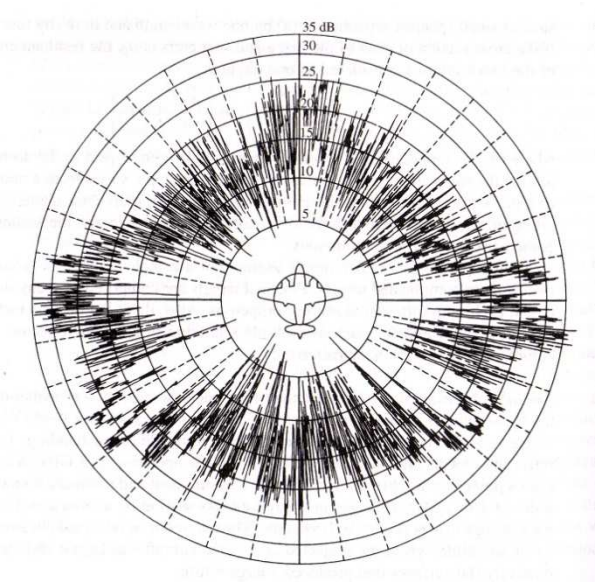
3. ábra egy komplex céltárgy RCS-ét mutatja a rálátás függvényében. A céltárgy két egyforma szóró tulajdonságokkal rendelkező gömbből áll, melyek egymástól (a) egy hullámhossznyi, (b) négy hullámhossznyi távolságra helyezkednek el egymástól.

Az ábrán jól látható, hogy ahogy a távolság nő a két céltárgy közt, úgy keskenyednek és sokasodnak a nyalábok az RCS-ben. Ezen egyszerű példa jól mutatja az összetett céltárgyak viselkedését.

Repülők

Egy sokak által használt példa a 4. ábra. Ez egy életnagyságú B-26-os gépről készült, melyet egy forgatható platformon helyeztek el, egy zavaroktól mentes hangárban és egy 3GHz-es frekvenciájú

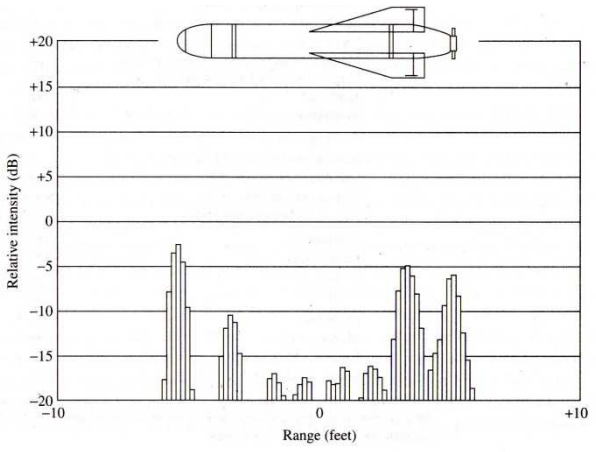
radarral vizsgálták. A mérés során a gép propellerei forogtak ezzel egy 1-2 kHz közötti modulációt okozva. Jól látható, hogy a rálátási szög függvényében milyen hirtelen változások léphetnek fel (akár 30dB). Az RCS maximum értéke a repülő oldalnézete során lép fel.



4. ábra B-26 RCS-e [1]

Egyéb célok

A rakéták radar keresztmetszet értékei jelentősen függnek azok típusától (5. ábra). Például egy ballisztikus rakéta eleinte az üzemanyag tankokkal felszerelve jelentős, de becsapódás előtt a robbanó fej RCS-e már jóval kisebb.



5. ábra Egy rakéta RCS-e [1]

Autók és egyéb földi járművek jelentős akár 200m^2 (100m^2 az átlag) keresztmetszettel is rendelkezhetnek egy X-sávú (azaz a 12-30 GHz frekvencia tartományban üzemelő) radar esetén.

RCS fluktuációk

Az egyszerűbb számítások érdekében az RCS értékét konstansként kezeljük az esetek jelentős részében. Azonban a valóságban ez az érték szinte sohasem konstans. A fellépő változásokat különböző külső hatások okozhatják (antenna iránykarakterisztikája, időjárási viszonyok, stb.). Az egyes tárgyak radar keresztmetszete érzékeny a rálátási szögre, így ha a tárgy mozog, és e szög változik, akkor az a visszavert jelben is változásokat fog okozni. Ezt a kvázi véletlenszerű ingadozást nevezzük fluktuációnak. Ilyenkor a jel mintáit egy valószínűségi változóval írhatjuk le.

Az RCS fluktuáció meghatározásának egy módja, hogy a radaregyenletben kijelölünk egy alsó határt, melyet a hatásos keresztmetszet értéke meghalad az idő egy jelentős részében (95-99 %). Gyakorlati indokok miatt választunk egy minimumot, mert így a választottnál mindig nagyobb lesz a valódi érték. Így ez a módszer egy óvatos becslést eredményez, ami rendelkezik még az egyszerűség előnyével is. A repülők vagy rakéták esetében ez a választott minimum keresztmetszet érték a szemből (head-on) vagy hátulról (tail-on) rálátást jelenti.

Ahhoz, hogy helyesen ki tudjuk számolni az RCS fluktuációját, ismernünk kell a korrelációs tulajdonságokat és az eloszlás függvényt adott tárgy esetén.

A sűrűségfüggvény megadja annak a valószínűségét, hogy a keresett RCS egy adott σ és σ + dσ érték közé esik, amíg az autokorrelációs függvény leírja a hatásos keresztmetszet korreláltságának mértékét az idővel és a pulzusok számával. Általában nem praktikus a radar működésének meghatározásához kellő összes adatot begyűjteni, hiszen a legtöbb eset túlontúl bonyolult ehhez. Gazdaságosabb módszer a keresztmetszet fluktuáló hatásának megállapítására egy elfogadható modell megalkotása és annak matematikai vizsgálata. Peter Swerling négy különböző fluktuációs modellt készített [2]. A négyből kettő esetben azt feltételezte, hogy a fluktuációk teljesen összefüggőek egy adott letapogatás (scan) alatt, de teljesen függetlenek letapogatásonként. A másik kettő esetben azt feltételezte, hogy a változások sokkal gyorsabbak és impulzusonként is függetlenek.

A Swerling-féle modellek megadják egy adott tárgy hatásos keresztmetszetének (RCS) fluktuációjának a valószínűségi sűrűség függvényét.

I. eset

A céltárgyról visszavert jel bármely letapogatás alatt konstans amplitúdóval rendelkezik, de ez az érték két letapogatás közt változhat, de letapogatásonként független. Ez a feltételezés figyelmen kívül hagyja az antenna nyaláb formájának hatását az amplitúdóra.

A hatásos keresztmetszet valószínűségi sűrűség függvényének leírására a következő kifejezést alkalmazzuk:

$$p(\sigma) = \frac{1}{\sigma_{av}} \cdot exp\left(-\frac{\sigma}{\sigma_{av}}\right), \sigma \geq 0 \qquad (2)$$

Ahol σ_{av} az átlagos hatásos keresztmetszet. Ez az eset jó közelítést ad repülő céltárgyak esetén.

II. eset

A keresztmetszet valószínűségi sűrűségi függvénye megegyezik I. esettel, de most sokkal gyorsabb változást feltételezünk, mint az I. esetnél, itt a minták teljesen korrelálatlanok, azaz impulzusonként függetlenek.

III. eset

A minták közti korreláltság az I. esetnek megfelelő, de a valószínűségi sűrűségi függvény a következő:

$$p(\sigma) = \frac{4\sigma}{\sigma_{av}^2} \cdot exp\left(-\frac{2\sigma}{\sigma_{av}}\right), \sigma \geq 0 \qquad (3)$$

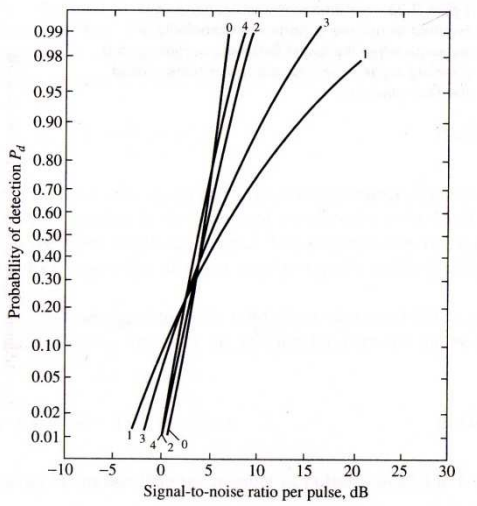
IV. eset

A minták itt is korrelálatlanok, és a valószínűségi sűrűségi függvény megfelel III. esetnek egyenletnek. A minták közti korreláció a II. esetnek megfelelő.

Bár négy esetről beszéltünk, szoktak még alkalmazni egy úgynevezett nulladik (vagy ötödik) esetet is, mikor azt feltételezzük, hogy a hatásos keresztmetszet konstans.

Az I. és II. esetben azt feltételezzük, hogy a tárgy több független szóró felületből áll, melyek közelítőleg egyforma visszaverő felülettel rendelkeznek. Elméletileg ezen felületek száma végtelenbe tart, de gyakorlatban majd látni fogjuk, hogy nem több négy-ötnél.

A III. és IV. esetben szereplő egyenletnél a felületet egy nagy és több apró visszaverő felülettel tudjuk modellezni. A fenti esetek mindegyikénél a radar egyenletbe σ_{av}-t kell behelyettesíteni.



6. ábra Detekciós valószínűségek a négy Swerling modell esetén [1]

Ahhoz, hogy a radar észleljen egy tárgyat, a jel-zaj viszonynak egy bizonyos értéket el kell érnie, anélkül, hogy a „vaklárma” valószínűsége egy adott küszöböt meghaladna. A különböző modellek tulajdonságainak összehasonlítását mutatja be a 6. ábra.

Jól látható, hogy a fluktuációmentes eset igényli a legkisebb jel-zaj viszonyt a nagy detektálási valószínűség eléréséhez. A 0,3-nál magasabb detekciós valószínűségnél azt láthatjuk, hogy kisebb jel-zaj viszonyt kívánnak meg azok az esetek mikor a minták függetlenek, míg a II. és IV. eset a fluktuáció mentes esetet közelíti meg. A pulzusok számának növelésével a fluktuáció kiátlagolódik.

A KŐRIS-HEGYI ATC RADAR

A radar teszter eszköz elsőként a Kőris-hegyen található ATC radarhoz kerül kihelyezésre, ezt fogja tesztelni. Ezért fontos megvizsgálnunk ennek a radarnak a működési elvét és mérési módszereit.

Jelenleg Kőris-hegyen egy Raytheon ASR23SS PSR típusú radar üzemel. Ebben a fejezetben szeretném röviden bemutatni a radar mérések során alkalmazott impulzusokat, azok modulációját.

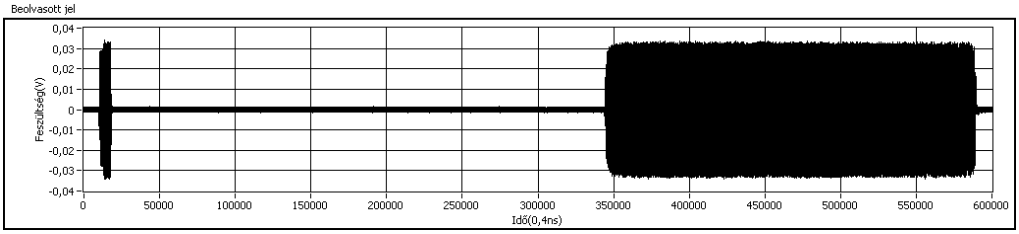
A távoltéri radar

7. ábra A Kőris-hegyi radar állomás

A Kőris-hegyen lévő Raytheon ASR-23SS távolfelderítő radarnál a radar teremben négy csatlakozási pont található. Itt hozzáférhető a két KF (közép frekvenciás), az RF (rádió frekvenciás) és a szinkron jel mérési célokra. Ez utóbbi az RF jel mérésénél trigger jelként funkcionált. A radar két közép frekvenciát alkalmaz, egy 3,88 MHz-est és egy 27,19 MHz-est. Tartalékolási okok miatt két adó blokk üzemel folyamatosan a radarban, így meghibásodás esetén azonnal át lehet kapcsolni a tartalék adóra, mely addig egy műterhelésre küldi csak a jelet.

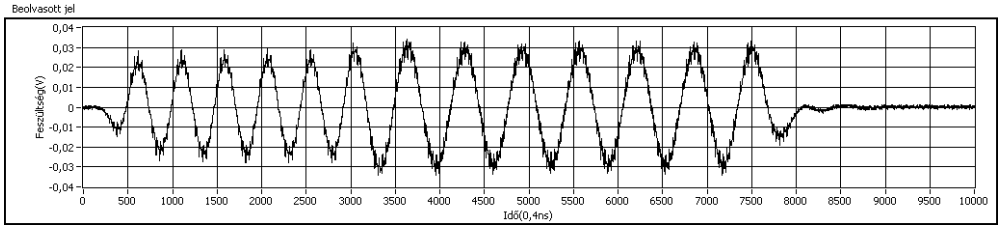
A KF jelek

A mért adatokat bemutató képek a Tektronix DPO 4104 oszcilloszkóp vezérlő program, valamint LabView felhasználásával készültek. Először vizsgáljuk meg az első KF jelet, ami 3,88 MHz-es!



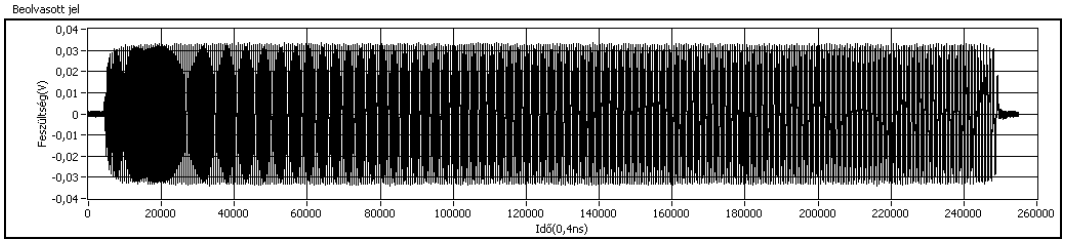
8. ábra A 3,88 MHz-es KF jel időtartománybeli jelalakja [3]

Jól látható mind a rövid, mind a hosszú impulzus képe (8. ábra). Ezek hossza 3,3 µs és 100 µs, a kettő közti szünet pedig 130 µs.



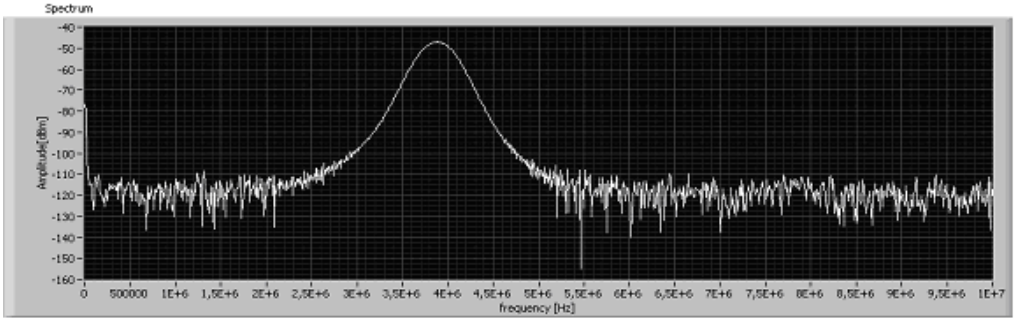
9. ábra A rövid impulzus időtartománybeli jelalakja (3,88 MHz) [3]

Látható a rövid impulzus időtartománybeli jel alakján (9. ábra), hogy két részből áll, egy nagyobb frekvenciájú, és utána egy kisebb frekvenciájú.

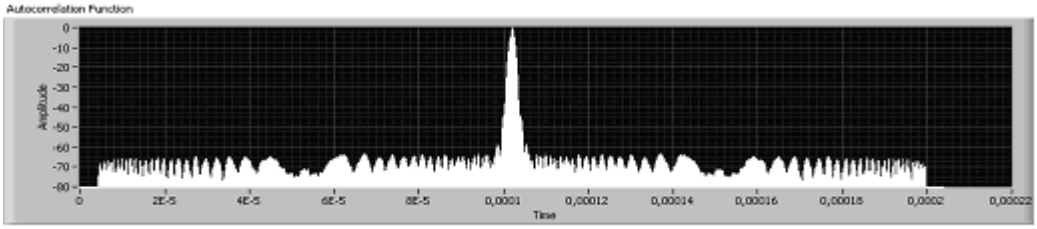


10. ábra A hosszú impulzus időtartománybeli jelalakja (3,88 MHz) [3]

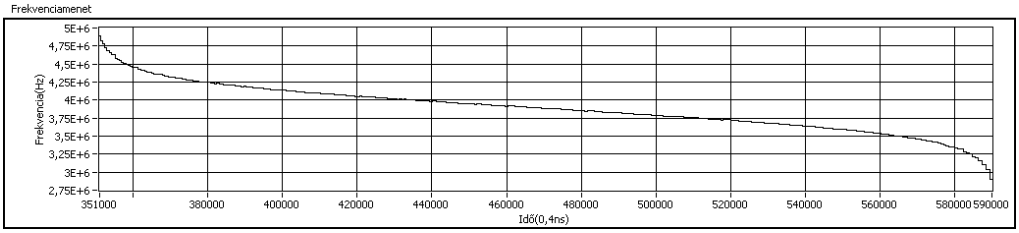
A 10. ábra már nem mutatja jól a jel frekvencia menetét, mint a rövid impulzusnál. Ezért azt egy periódusidőn alapuló analízis segítségével ábrázoltuk.



11. ábra A hosszú impulzus spektruma (3,88 MHz) [3]



12. ábra A hosszú impulzus autokorrelációs függvénye (3,88 MHz) [3]



13. ábra A hosszú impulzus frekvenciamenete (3,88 MHz) [3]

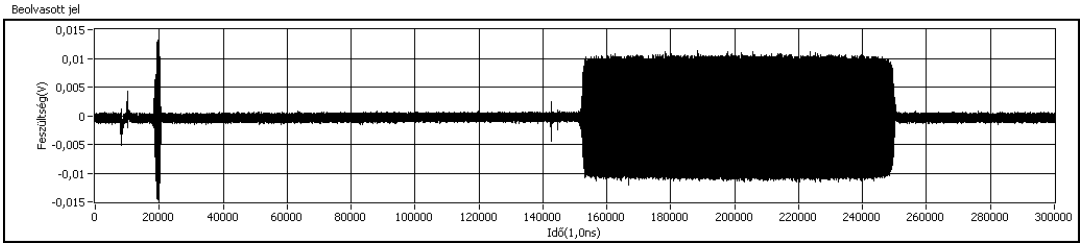
A kapott frekvenciameneten jól látható a nemlineáris jelleg, ami az alkalmazás szempontjából előnyös, mert alacsony melléknyaláb szintet eredményez az autokorrelációs függvénynél (12. ábra).

A frekvenciamenet jellemzői a következők:

- Középfrekvencia 3,88 MHz
- Frekvencia löket 2 MHz
- A kezdő frekvencia kicsit kevesebb, mint 5 MHz
- A frekvencia a végén kicsit kevesebb, mint 3 MHz

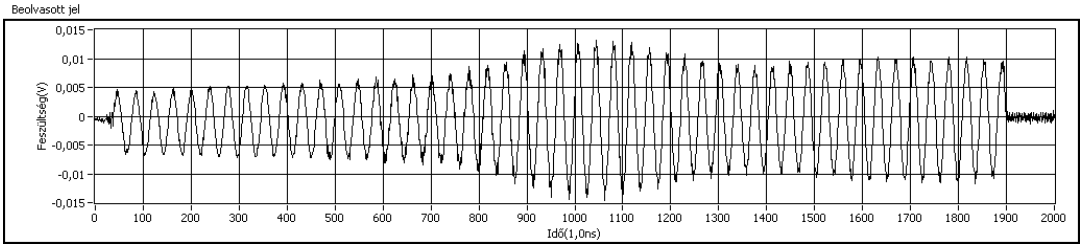
Ezek az értékek megfelelnek a vártnak.

Vizsgáljuk meg ezek után a másik 27,19 MHz-es KF jelet is.



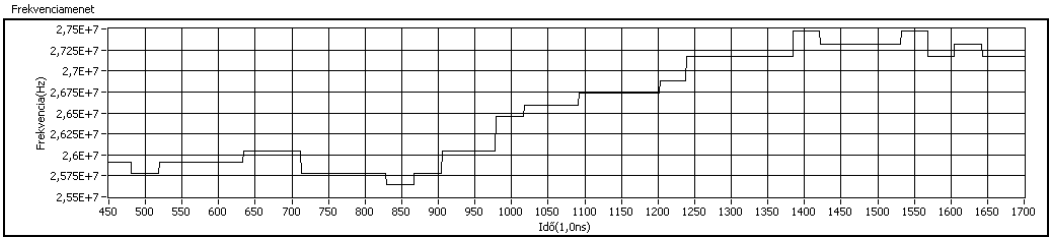
14. ábra A 27,19 MHz-es jel időtartománybeli jelalakja [3]

A első KF jelnél mért időtartamok a felkeverés hatására nem változtak meg.

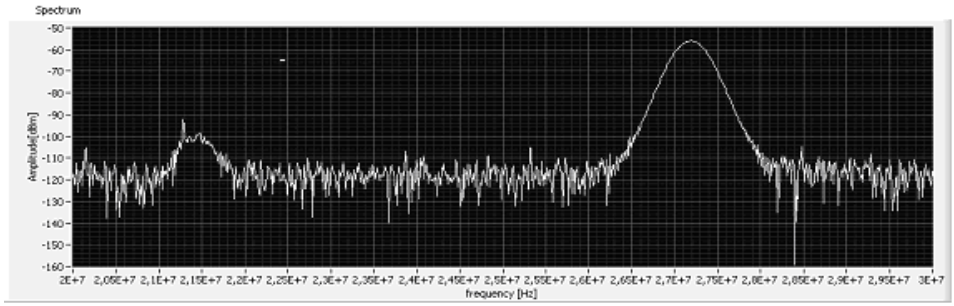


15. ábra A rövid impulzus időtartománybeli jelalakja (27,19 MHz) [3]

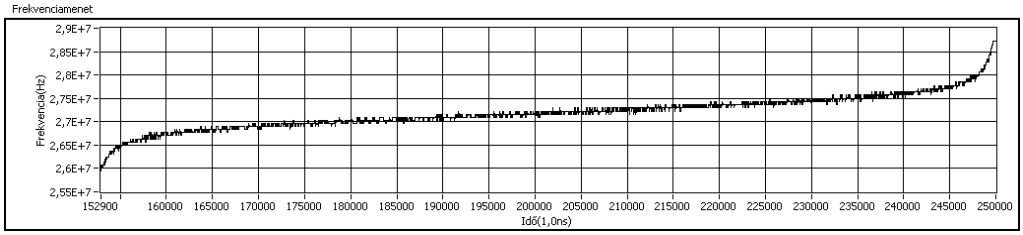
Az időtartománybeli jelen a frekvenciamenet már nem látható, mivel csak kismértékű, így azt az előbbi módon külön vizsgálva (16. ábra) jól elválasztható a két különböző frekvenciájú rész. Megfigyelhető, hogy a előző KF fokozattal szemben itt előbb a kisebb, majd utána következik a nagyobb frekvenciás rész.



16. ábra A rövid impulzus frekvenciamenete (27,19 MHz) [3]



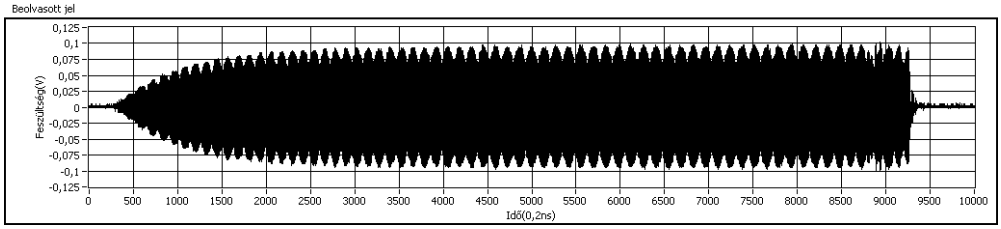
17. ábra A második KF jel spektruma (27,19 MHz) [3]



18. ábra A hosszú impulzus frekvenciamenete (27,19 MHz) [3]

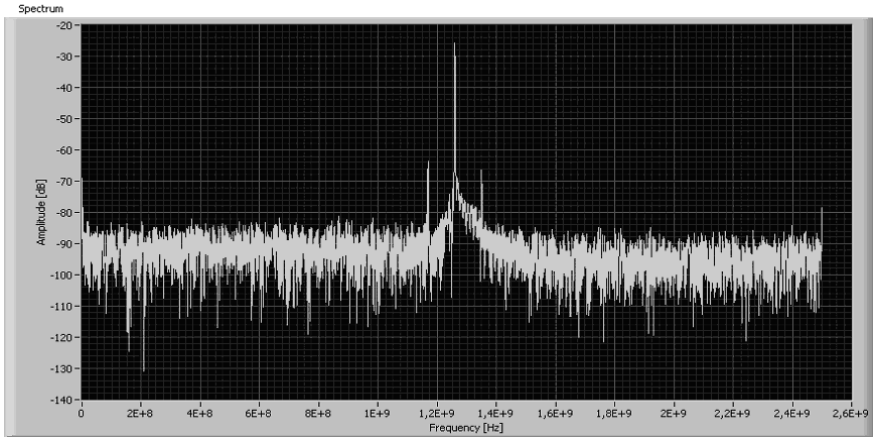
Az RF jel

Vizsgáljuk most meg a radar által kibocsátott RF jeleket.

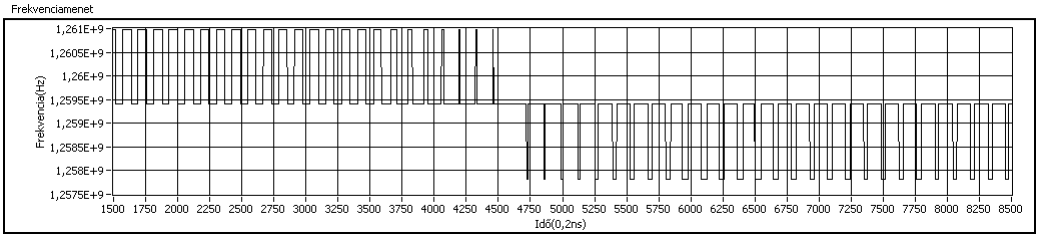


19. ábra A rövid impulzus időtartománybeli képe (1,3 GHz) [3]

A 19. ábraán látható jelalak a mérésnél használt műszer korlátai miatt torzult. Sajnos a műszer felső mérési határa 1 GHz, így a kapott eredmény az eredeti jeleknek csak a jellegét mutatja.

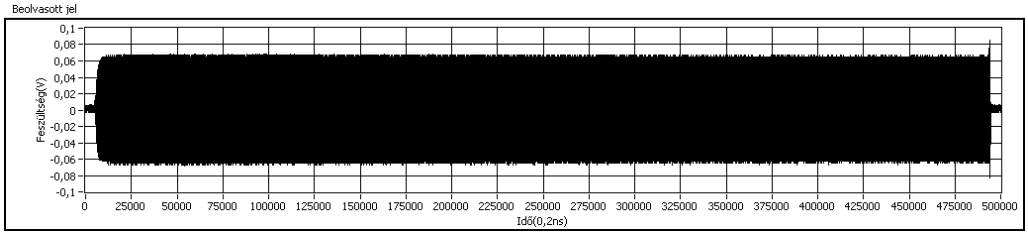


20. ábra A rövid impulzus spektruma (1,3 GHz) [3]

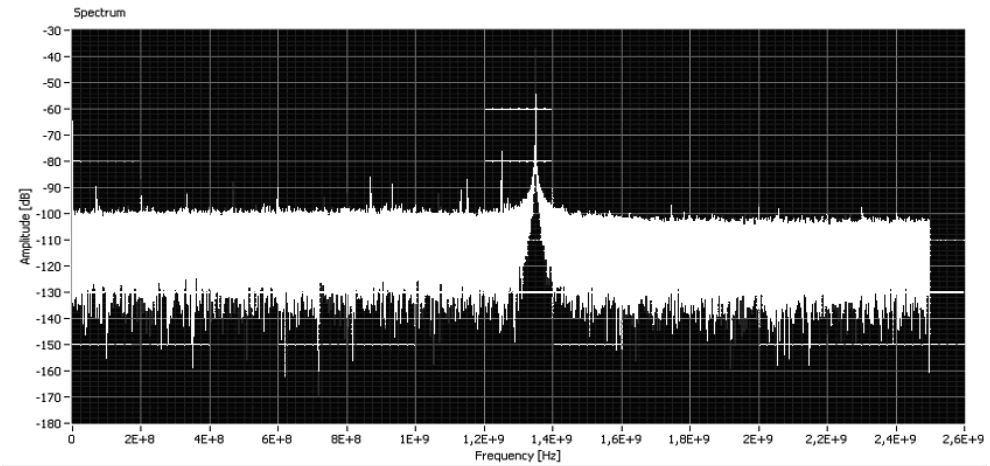


21. ábra A rövid impulzus frekvenciamenete (1,3 GHz) [3]

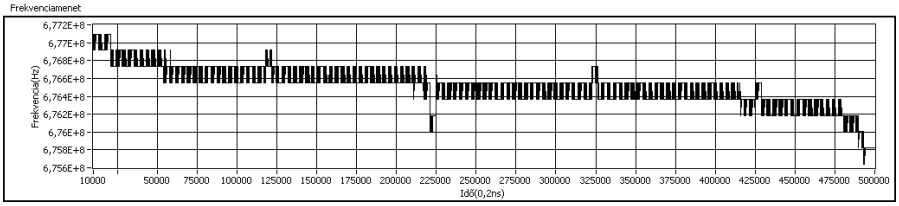
A mérési pontatlanság ellenére is látható, hogy a rövid impulzus frekenciamenete (21. ábra) hasonló az eddigiekhez. Újfent tapasztalható a frekvenciamenet irányának változása.



22. ábra A hosszú impulzus időtartománybeli képe (1,3 GHz) [3]

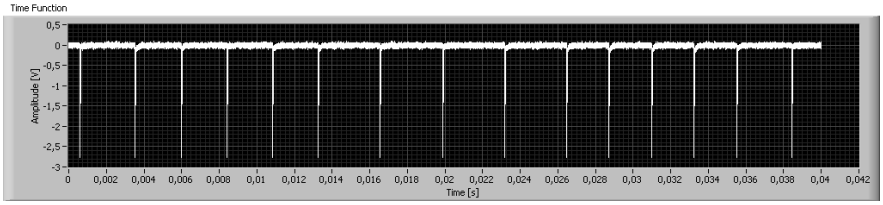


23. ábra A hosszú impulzus spektruma (1,3 GHz) [3]



24. ábra A hosszú impulzus frekvenciamenete (1,3 GHz) [3]

A hosszú impulzus mérése során is látható a műszer okozta pontatlanság.

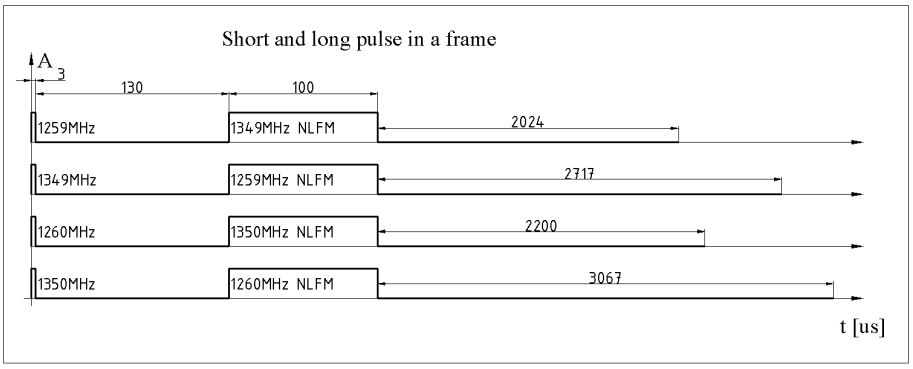


25. ábra A szinkron jel (változó PRF) [3]

A szinkron jelen (25. ábra) látható a folyamatosan változó impulzus ismétlési frekvencia (PRF), erre azért van szükség, hogy a vaksebességet kiküszöböljék. Ezt nevezik *sánta* (*staggered*) indításnak. A radarnál alkalmazott értékeket a következő táblázat tartalmazza.

PRF[Hz]	TPRF [ms]
339	2,94985
411	2,43309
303	3,30033
443	2,25734

1. A használt PRF értékek



26. ábra A radarnál használt impulzusok [3]

A RADAR TESZTER BEMUTATÁSA

A CRCS jelentése *Controlled Radar Cross Section – irányított radar hatásos keresztmetszet*. Egy radar mérés során a kibocsátott impulzus tulajdonságai alapján következtetünk az adott céltárgy egyes

paramétereire. A CRCS alapelve az, hogy ezen ismereteinknek megfelelően olyan jeleket küldjünk vissza a radarnak, melyek egy általunk kívánt céltárgynak megfelelőek lesznek. Így létrehozva egy olyan vizsgálatra alkalmas céltárgyat, melynek miden paraméterét ismerjük, ami alkalmas a radar esetleges hibáinak kiderítésére.

Ha a mért értékek nem az általunk generálttal megegyezőek, akkor tudni fogjuk, hogy a radar rendszer valamely része hibásan működik. Az eltérések vizsgálatával következtethetünk a hiba okára és kialakulási helyére a rendszerben.

A befolyásolható tulajdonságok

Vizsgáljuk meg, hogy mik azok a paraméterei egy céltárgynak, melyet a radar mér, és képesek vagyunk befolyásolni, s mi módon.

- Radiális távolság
- Radiális sebesség
- A céltárgy fluktuációja

A különböző szakirodalmak alapján ismerjük (referencia!!!!), hogy a radar mi módon méri a céltárgyak egyes paramétereit. Vizsgáljuk meg hogyan tudnánk ezek alapján félrevezetni a radart úgy, hogy azt a céltárgyat lássa amit mi szeretnénk.

Távolság

A radar a távolságot a jel visszatérési idejéből számolja. Ha ezt az értéket képesek vagyunk változtatni, akkor képesek vagyunk befolyásolni a céltárgy távolságát. Ennek egy lehetősége, hogy mikor adjuk ki az általunk generált jelet a radar jel vételéhez képest.

Sebesség

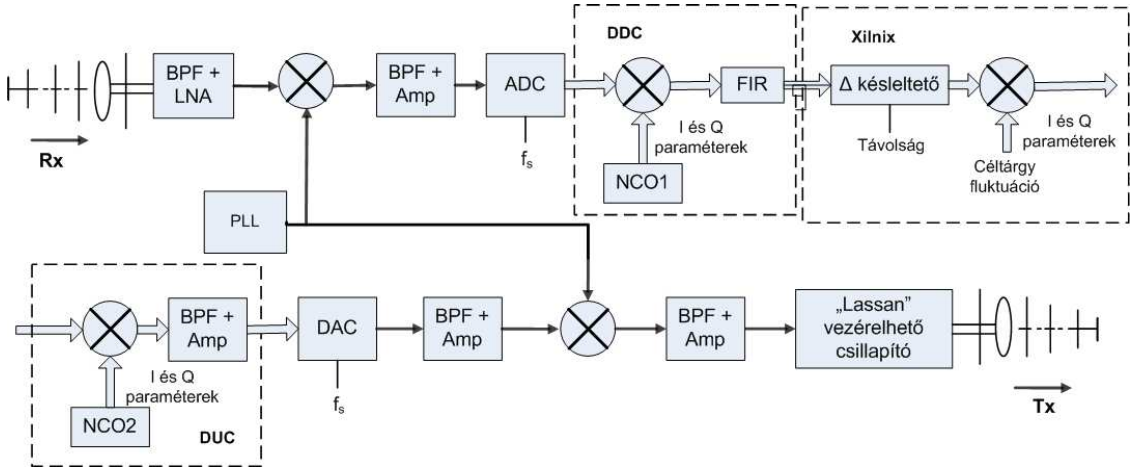
A radar a sebességet a Doppler frekvencia alapján számolja. Tehát a létrehozott céltárgy sebessége attól függ, hogy mekkora a frekvenciabeli különbség a radar impulzus és az általunk kiadott impulzus közt.

Fluktuáció

Ha ismerjük az általunk imitálni kívánt céltárgy fluktuációját, akkor azzal modulálva az általunk kibocsátott impulzust létrehozhatunk egy olyan echot, amit a radar a klasszifikációs eljárás során úgy azonosít, mint a céltárgy amit imitálni kívántunk.

A radarteszter felépítése és működése

A BME Szélessávú és Mikrohullámú Távérzékelés Laboratóriumban fejlesztett radar teszter eszköz működését mutatja be a 27. ábra. Az eszközt a laboratórium a HungaroControl Zrt. részére fejleszti.



27. ábra A laborban készült CRCS eszköz működése

Az eszközt soros kapcsolaton keresztül számítógépről vezérelhetjük, beállítva a kívánt céltárgy adatait.

Vétel és konvertálás

A CRCS eszköz egy a laborban 1300 MHz-re készített Yagi antennával veszi a kibocsátott radar jelet (*Rx*). Ezt követően a bemeneti jelet erősíti és sávszűri (*BPF+LNA*). A még *RF* (rádiófrekvenciás) jelet a *PLL* (Phase Locked Loop) által generált frekvenciával lekeveri *KF-re* (középfrekvencia) és kiszűri és erősíti a számunkra továbbiakban is fontos jeleket (*BPF+Amp*). Ezek után az *ADC* (Analog Digital Converter) f_s frekvenciával mintavételezi a jelet. A már digitális jelet vastag nyíllal jelöltem (27. ábra).

DDC - Digital Down Converter

Az immár digitális, de még valós jelet az *NCO1* (Numerically-controlled Oscillator) által generált szinusz és koszinusz jelekkel keverve egy komplex jelet képez, melyet *I* (Inphase) és *Q* (Quadrature) paraméterrel adunk meg. A FIR (Finite Impulse Response) szűrő aluláteresztő szűrőként funkcionál, és csak a különbségi jelet átengedve alapsávi jellé képezi le a digitális komplex jelet.

Céltárgy paraméterek beállítása

A Δ késleltető nem más, mint egy állítható hosszúságú *FIFO* (First In First Out) regiszter, mely segítségével beállítható a jel késleltetése. Ezzel befolyásolható a céltárgy radar által érzékelt távolsága. Az egyes tárgyak mind más radar hatásos keresztmetszettel rendelkeznek [1], mely alapján felismerhetőek a radar számára. A kívánt céltárgyra jellemző *I* és *Q* paraméterrel modulálva a jelet alakíthatjuk ki a radar felé visszasugárzandó jelet.

DUC - Digital Up Converter

A radar echot ezután az *NCO2* segítségével visszakeverjük KF frekvenciára. Ha a művelet során $f_{NCO1} \neq f_{NCO2}$-vel, akkor azt a radar, mint Doppler-eltolódás érzékeli, azaz így imitálhatunk céltárgy sebességet. A felkeverés után fellépő melléktermékeket szűri a sávszűrő (anti-aliasing).

Konvertálás és adás

A digitális KF jelet a *DAC* (Digital Analog Converter) ismét f_s frekvenciával visszaalakítja analóg formába. A *PLL* által generált frekvenciával pedig felkeverjük *RF*-re a jelet. A szűrés és erősítés után egy *„lassan" vezérelhető csillapító* segítségével állítjuk be a mozgó céltárgy távolodási sebességének megfelelő csillapítást a jelszinten. Erre azért van szükség, mert másképp nem tudnánk a radar teljes hatótávolságában (30km-300km) megfelelő értékeket generálni. Az eszköz a kész jelet egy a vételinek megfelelő Yagi antenna segítségével sugározza vissza a radar felé.

HELYSZÍNI ELRENDEZÉS?

A rendszer tesztüzemére a HungaroControl által üzemeltetett Kőris-hegyi radar állomás mellett kerül sor. A tesztert a radartól légvonalban 1,5 kilométerre lévő Parajos-tetőn helyezzük el. Itt az eszköz a rádió tornyon helyezkedne el, hogy az imitált céltárgy jelét megfelelően tudja a radar felé sugározni, az ezt vezérlő számítógép viszont a radar oldalán volna. Így a radar tesztelések során a radar kezelői képesek lesznek egyazon helyről irányítani mindkét eszközt.

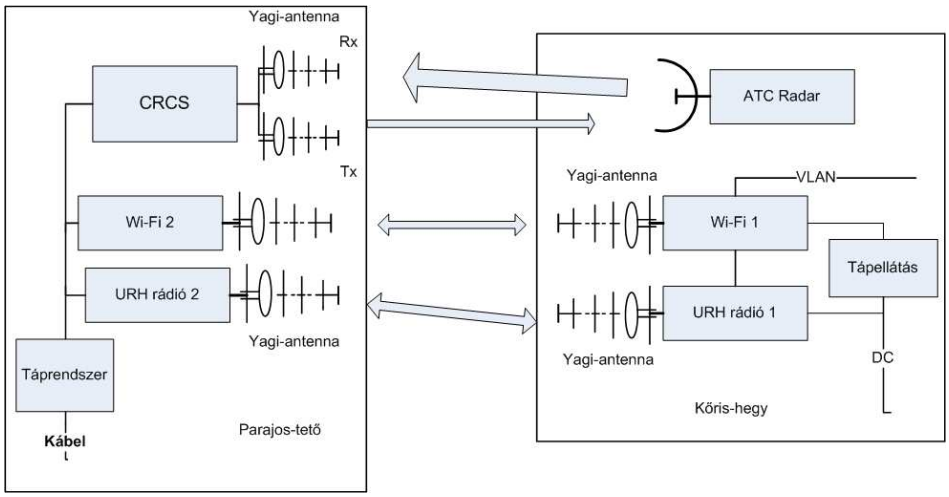
A rendszer helyszíni elrendezése miatt új feladatok jelentek meg, ezért szükségessé vált az eszközzel szembeni kezdeti követelmények megváltoztatása. Az új célok a következők voltak (i) egy egyedi tápellátást biztosító, valamint (ii) egy megbízható távvezérlés eredményező rendszer megvalósítása. Az elhelyezkedésből adódik, hogy a vezérlés nem oldható meg soros kapcsolat segítségével.

Kommunikáció

A teszter és a vezérlő eszköz között rádiós kapcsolat megvalósítására egy WiFi (IEEE 802.11g) összeköttetést alkalmaztunk (28. ábra). Az okok, amiért a WiFi-t választottuk a következők:

- a piacon kapható eszközök széles választéka
- sokféle kiegészítő (pl. antennák)
- kipróbált, tesztelt protokoll
- könnyű felhasználhatóság

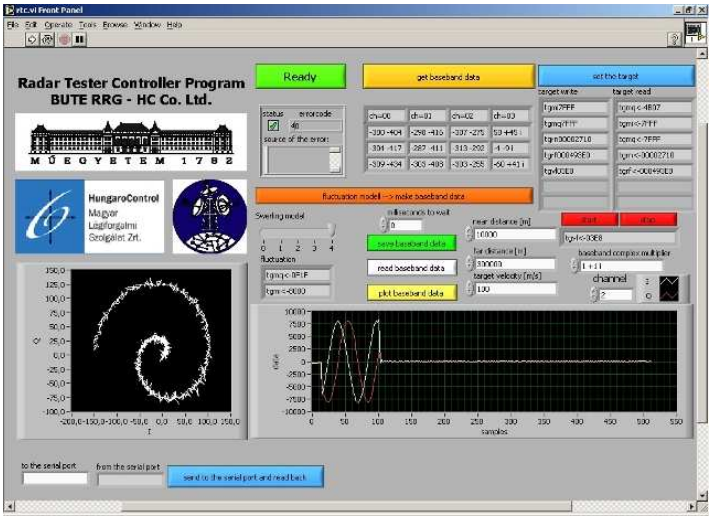
Az első helyszíni teszt során egy súlyos probléma adódott. Egy igen erős zavaró jelenség lépett fel a WiFi kapcsolat és a ATC radar egyidejű működése során. A radar impulzus hatására a WiFi vevőkészülék bemenetén elhelyezkedő LNA telítésbe került és a jel felharmonikusait állította elő. Ezek közül a második éppen egybe esik a rendszerben használt WiFi sávval. Ezt a problémát, egy korábbi munkánkban leírt módon [3], sikerült elhárítani egy saját készítésű sávszűrő alkalmazásával.



28. ábra A kommunikációs rendszer

A zavarás megszűntetése utána az összeköttetés megfelelővé vált a kommunikáció számára. A teszter eszköz a korábban említetteknek megfelelően egyedül egy soros csatlakozóval rendelkezik a vezérlő üzenetek fogdására. Így szükségessé vált egy TCP – soros átalakító beiktatása, melyet egy beágyazott rendszerrel oldottunk meg. Az átalakítás utána az adatokat a WiFi kapcsolat segítségével továbbítjuk a vezérlőegységnek.

A radarteszter a fenti TCP kapcsolaton keresztül vezérelhető, ASCII karakteres parancsok útján. Az operátorok számára egy felhasználó barát grafikus vezérlő program (GUI) is kialakításra került, jelenleg még csak Windows operációs rendszerek alá (29. ábra).



29. ábra A vezérlő program grafikus felülete

Ahogy a 28. ábra mutatja, létezik még egy rádiós összeköttetés a két torony között, mely a laborunkban kifejlesztett URH rádió adó-vevőkből áll. Ezen kapcsolat fő feladata a mért környezeti paraméterek (páratartalom, hőmérséklet, stb.) és a tápellátó rendszer állapotára vonatkozó adatok továbbítása. A rádiók által használt protokoll is a labor fejlesztése.

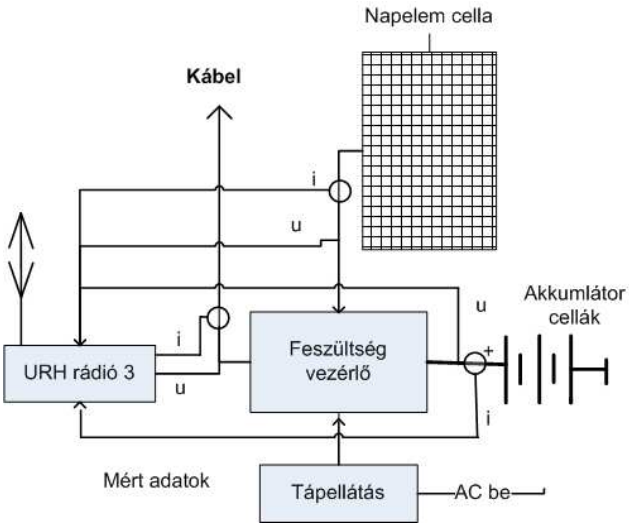
Mind az URH, mind a WiFi képes a másik feladatának ellátására, egy hiba-tűrő, redundáns rendszert alkotva.

Egyedi tápellátás

Az egyedi tápellátás megoldására, a telepítési hely környezeti adottságait figyelembe véve, napelem cellás rendszert használtunk. Ez volt az egyetlen lehetőség, melyet megfelelően alkalmazni tudtunk a rádiótornyon Parajos-tetőn. A Korax Solar cég egy KS-240 modelljét alkalmaztuk. A napelem paramétereit a következő táblázat mutatja.

Típus	KS-240
A modul típusa	Monokristályos napelem modul
Üzemi hőmérséklet	-40–+85[C]
Csúcsteljesítmény	240[W]
Munkaponti feszültség	30.2[V]
Munkaponti áram	7.95[A]
A modul méretei	1657x977x39.5[mm]

2. táblázat A napelem cella adatai



30. ábra A tápellátó rendszer

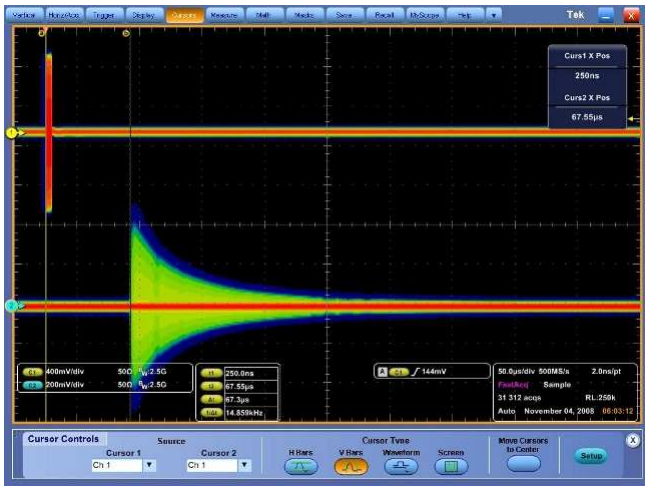
A rendszer kialakítását a 30. ábra mutatja. A jobb teljesítmény elérése érdekében egy monitorozó rendszert is kialakítottunk. Ez az alrendszer minden mért adatot továbbít az URH rádiós összeköttetésen keresztül a radar mellett lévő vezérlő egységnek. Az ábrán látható „Kábel" feliratú vezeték biztosítja a teszter eszköz számára szükséges feszültséget, áramot. A hálózati tápellátás csak, mint másodlagos lehetőség szerepel, újfent redundánssá téve a rendszert.

MÉRÉSI EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben ismertetjük a különböző mérések során kapott eredményeket.

Labor mérés eredményei

A laboratóriumi tesztek során egy rövid szinuszos jelet küldtünk a teszter bemenetére és vizsgáltuk a kimenetén érzékelhető jelet, ami egy távolodó céltárgyat imitált (31. ábra). A „lassan vezérelhető” csillapító hatása jól látható a kibocsátott jel csökkenése során (fading). Ez a csökkenés hasonló egy távolodó cél által okozott jelnél mérhetőhöz.



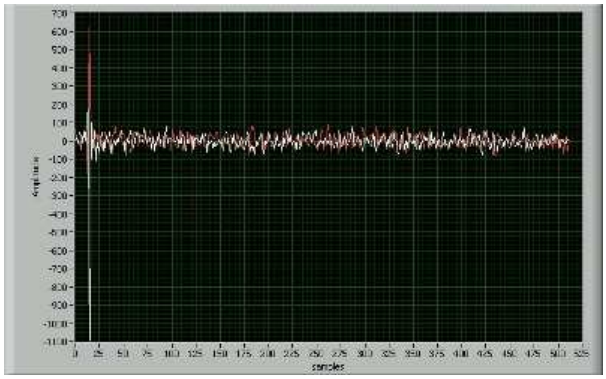
31. ábra A radar teszter laboratóriumi vizsgálata

Helyszíni mérések

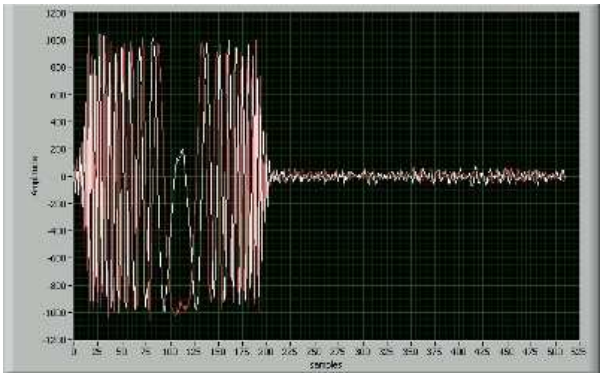
A helyszíni mérésekre Kőrishegyen került sor. A tesztert egy 1,5 km-re lévő toronyra rögzítettük, mind a teszter, mind a WiFi antennáit a primer radar felé állítottuk (32. ábra). A radar a köd miatt nem látható a képen.

32. ábra Az antennák beállítása

A vett radar impulzusokat letöltöttük a teszterről a távoli elérésen keresztül.



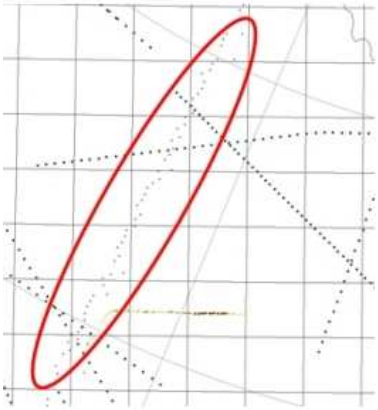
33. ábra A vett rövid radar impulzus



34. ábra A vett hosszú radar impulzus

Jól látható a nem lineáris FM moduláció a vett hosszú radar impulzus I-Q reprezentációján (34. ábra). Ezen adatok alapján kijelenthető, hogy a teszter képes a primer radar modulációs rendszerének vizsgálatára.

A primer radar éles helyszíni tesztje során sikeresen imitáltunk, a teszter segítségével, egy repülő mozgását utánozó céltárgyat. Az álcél 600 km/h radiális sebességgel haladt dél, dél-nyugati irányba, a radartól folyamatosan távolodva (30-300 kilométeres út). A radar vezérlő programból kimentett képen jól látható a céltárgy pályája (35. ábra). A többi repülőgép pályája az utólagos feldolgozás miatt tűnik egyenesebbnek (szekunder radartól származó mérések).



35. ábra Imitált céltárgy

ÖSSZEGZÉS

A primer radarok tesztelése egy meglehetősen összetett feladat, mind elméleti mind pedig mérnöki nézőpontból. A CRCS elméleti megoldás segítségével sikeresen kialakítottunk egy módszert, és egy azon alapuló megvalósított rendszert, annak minden elemével (hardver, irányító szoftver), a légiirányításban használt primer radarok tesztelésre.

A teszter sikeresen szerepelt az egyik magyarországi ATC radar egy helyszíni próbáján. Ezen mérés során többször generált ál céltárgyakat, melyeket a radar észlelt, amik valós repülők mozgását imitálták. A kísérletek alapján mondható, hogy a berendezés képes a teljes radar rendszer tesztelésére.

Egy lehetséges jövőbeni alkalmazásként a tesztert úgyis használhatnánk, mint egy antenna karakterisztika vizsgáló eszközt, mely gyors, de közelítő mérésekre képes. A vevő nagy dinamika tartományának köszönhetően, az antenna fő és mellék nyalábjai is egyaránt vizsgálhatóak lennének. Így a rendszer képes volna kiszűrni a lehetséges problémákat, mielőtt azok olyannyira jelentőssé válnának, hogy már a főnyalábot is befolyásolnák.

IRODALOMJEGYZÉK

[1] Merril I. Skolnik: Introductions to Radar Systems. McGraw-Hill Book Companies, Inc. 2001.
[2] Peter Swerling: Probability of detection for fluctuating targets. RAND Corporation, Tech. Rep. RM-1217, ASTIA Document Number AD80638,1954.
[3] BME HVT V2/619labor : Mérési jegyzőkönyv Kőris-hegy – Parajos-tető, szeptember 2009.
[4] Micskei Tibor, Seller Rudolf, “On problems occurring at close vicinity usage of WiFi and radars, especially ATC and weather” in Radioelektronika,19th International Conference, Bratislava, Slovak Republic, 2009, pp.57–60.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. Seres György – dr. Miskolczi Ildikó – Tibenszkyné dr. Fórika Krisztina – Szegediné Lengyel Piroska – Gerő Péter

TESZTELJÜK A TESZTEKET - AVAGY AZ INTERAKTÍV ISMERETELLENŐRZÉS NÉHÁNY PROFESSZIONÁLIS LEHETŐSÉGE AZ E-LEARNINGBEN

Absztrakt

Az előadás során a szerzők az e-learning területén végzett kutatásaik legfrissebb eredményeit mutatják be. A hallgatóság megismerkedhet a távtanulás elemei közül a számonkérés során alkalmazható néhány professzionális módszerrel és eszközzel, az interaktív tesztek szerepével, készítésével és alkalmazásával az e-learningben.

Bemutatják és összehasonlítják néhány saját moodle LMS rendszereikben alkalmazott és az alkalmazhatóság szempontjából vizsgált teszttípust. Rávilágítanak arra, hogyan lehet a számonkérés, a megszerzett ismeretek ellenőrzése az „ellenőrzött", a vizsgázó tanuló által is élvezetes, hatékony és kedvcsináló. Bemutatnak ellenőrzés, önellenőrzés, vizsgáztatás és egy-egy témakör átfogó, összegző ismereteinek elmélyítésének céljára szolgálóteszteket.. A bemutatott tesztkészítő rendszerek interaktívak, és bonyolult szerkezetű „teszt-labirintusok" létrehozását is támogatják.

Szerzők nem csak ezen tesztek előnyeit mutatják be, de rávilágítanak alkalmazhatóságuk korlátaira is.

Kulcsszavak: értékelés, teszt, online feladatok, tesztlabirintus

BEVEZETÉS

Eredmények csak a minőségen alapuló e-learning-től, illetve távoktatástól várhatók el, amely eredmények azáltal mérhetők, hogy a kurzusokat sikeresen teljesítő tanulók képesek-e alkalmazni megszerzett ismereteiket, az elérhető technológiákat és más, az élethez szükséges készségeket.

A kérdés, hogyan fokozható a tanulás, illetve a tanulók eredményessége, hogyan lehet az oktatás sikeres?

Korom Erik szerint az **értékelés** javítja az oktatás minőségét és fejleszti a tanulók személyiségét: „Az értékelés milyensége kihatással van az oktatás minőségére, befolyásolja a tanulók teljesítményét, a hibák korrigálhatóságának mértékét, a tanulók közérzetét, érdeklődését, beállítódását, az iskolához fűződő attitűdjeit. Az értékelés komplex nevelői funkciójának érvényesülése tehát a tanulói személyiség fejlődését befolyásoló komponens." (Korom)

Véleményünk szerint, az **értékelés milyensége** a kulcsfogalom a teljesítményértékelés tekintetében. A kérdés, hogy hogyan motiválhat egy vizsga, egy számonkérés?

A virtuális oktatás a hagyományos oktatáshoz képest új módszerek, új értékelési eljárások kialakítását teszi szükségessé, ami új igényeket, új követelményeket támaszt a pedagógusokkal szemben, Az új feladatok, az új követelmények újfajta pedagógiai gondolkodást és gyakorlatot követelnek meg.

Tanórai keretek között a tanítás hagyományos funkciója az ismeretek átadása, a tudás bázisán alapuló szellemi képességek kifejlesztése. Ezzel szemben a tanulóközpontú szemléletű virtuális oktatás a **személyiségfejlesztés**t helyezi a középpontba, és annak rendeli alá az ismeretszerzést, amely ismeretszerzés során elengedhetetlen a **tanár-diák kommunikáció.** Ezt a sajátos kapcsolattartást ugyanakkor a távoktatás céljára választott programcsomagnak kell maradéktalanul biztosítania. A korszerű virtuális oktatás tehát megköveteli a tanár-diák kapcsolat, a kommunikáció, a kapcsolattartás új dimenzióban való értelmezését. Egyrészt a hatékony ismeretszerzés érdekében az egyéni tutorálás mellett, a **kooperatív tutorálásra** is lehetőséget kell adni, szem előtt tartva azt, hogy a tanulók egymás kérdéseiből, észrevételeiből, az azokra kapott válaszokból is tanulnak, hogy megtapasztalva a társak problémáit, bátrabban beszélnek saját problémáikról.

A tananyagba, minden átfogó, nagyobb fejezet lezárásaként, célszerű egy **projekt-feladatot** beépíteni, felajánlani a hallgatóknak, hogy a gyakorlati természetű feladatot on-line foglalkozások keretében közösen oldják meg. A projekt munka a tanulók érdeklődésére, a diákok közös tevékenységére építő kooperatív munka.

A kiscsoportos munkában való részvétel nagyfokú tanulói önállóságot igényel, az ismereteket integrálja, a tanulók egymás munkájáért is felelősek, így közöttük kölcsönös függőségi viszonyok jönnek létre. A legfontosabb mozzanat az, hogy a feladat sikeres megoldásához a tanulók sokféle képességét kell mozgósítani, s ennek révén, azon túl, hogy minden tanuló hozzájárul a csoport feladatának sikeres megoldásához függetlenül attól, hogy milyen egyedi intellektuális képességekkel

rendelkezik, a tanárnak is lehetősége nyílik – megfigyelő szerepkörből – az egyéni képességeket „tanulmányozni”, feltérképezni. A tanár feladata, hogy a háttérből figyelje a tanulók tanulási stratégiáját, kövesse végig a teljes tanulási folyamatot, szükség esetén segítse az alacsonyabb státuszú tanulók aktív bekapcsolódását a csoportmunkába. A csoport munka befejezését követően a résztvevők személyre szabott értékelést kapnak a tanártól.

1. ábra Egy projektfeladat a Számviteli ismeret (Szegediné Lengyel, 2009) e-tankönyvből[1]

A projekt feladat megjelenítésére számos technikai-technológiai megoldás áll rendelkezésünkre, s ezzel megteremthetjük a lehetőségét annak, hogy ugyanazt az esetpéldát többféle megközelítésben kínáljuk fel a tanulónak, aki kiválaszthatja a saját tanulási stílusához legközelebb álló formát.

Véleményünk szerint, a tanulói teljesítmények értékelésekor, az értékelési módszerek kidolgozásakor, abból kell kiindulni, hogy **a siker motivál**, és hogy **a sikerhez nagyfokú motiváltságra van szükség.**

A távoktatás céljára kifejlesztett, ismereteket mérő feladatoknak, teszteknek, olyan tartalommal kell rendelkezniük, hogy a tanulók örömforrásként éljék meg a tanulási folyamat befejező szakaszát, a „számadást”, hogy ez által motiváltabbak legyenek fejlődésüket, tanulmányi eredményeiket illetően. Amennyiben elfogadjuk, hogy az értékelésnek, ezeket a célokat kell szolgálnia, teljesen világos, hogy hagyományos úton, hagyományos eszközökkel ez már nem lehetséges. Egy korszerű e-példatárnak

[1] http://www.lengyelpiroska.hu/szamvitele/konyv/6_Projekt_feladat_start.html

olyan tanulást támogató módszertani megoldásokat kell tartalmaznia, amely nyomtatott formában nem tudja betölteni szerepét.

Az értékelési folyamatban, a számadás alkalmával a tananyag és a tanuló között egyfajta személyes viszony kell, hogy kialakuljon, amely viszonynak elsősorban a tanulói motiváltságot kell kiváltania. A jó feladat **innovatív gondolkodásra** késztet, a beépített irányító elemek és visszacsatolások motiválják, egyben vezérlik a tanulót a helyes megoldás irányába.

Minden bizonnyal, a kiváló képességekkel rendelkező, aktív, szorgalmas tanulókat ezek a megoldások folyamatos tanulásra, mind több és több gyakorló, önellenőrző feladat megoldására serkentik, de hogyan fokozhatjuk a fejlődését az alacsonyabb státuszú hallgatóknak?

Azt gondoljuk, hogy úgy kell kialakítani az „**értékelés milyenségét",** hogy a számonkérés alkalmával az átlagos, vagy gyengébb képességű tanulóknak is legyen sikerélményük.

A számonkérés során érdemes játékos feladatokat is beépíteni az értékelési folyamatba, majd a motiválást fokozni egyfajta jutalmazással. Az elektronikus könyvekbe egy-egy tananyagrész befejezéseként például „jutalomórákat" lehet beépíteni Az órákon való részvétel feltételeként szabhatjuk, hogy a tanuló adjon számot ismereteiről, egy egyszerű feladat – például egy alapfogalmakra épülő keresztrejtvény – megoldásával. A megoldás jutalma egy tanmese vagy egy konkrét esetpélda megtekintése, amely egy tananyagrésznek a játékos feldolgozása, interaktív eszközökkel való modellezése, ugyanakkor megtekintése során a tanuló szakmai ismeretei bővülnek, illetve segíti a már elsajátított ismeretek tartós rögzítését.

2. ábra. Egy jutalomóra indítása a Számviteli ismeret e-tankönyvből2

Ilyen, az elsajátított ismeretek ellenőrzésére, önellenőrzésre alkalmas, de ugyanakkor – ha úgy teszik – játékos és kedvcsináló teszteket ma már könnyedén készíthetünk online alkalmazásra.

[2] http://www.lengyelpiroska.hu/szamvitele/konyv/peldatar_jutalom_start2.html

HOT POTATOES

Egyik ilyen könnyedén alkalmazható megoldás, az ingyenesen regisztrálható, kanadai fejlesztésű – magyar nyelvű változattal is rendelkező – „Hot Potatoes” tesztszerkesztő szoftver[3], amellyel többféle feladattípusban is létrehozhatunk teszteket.

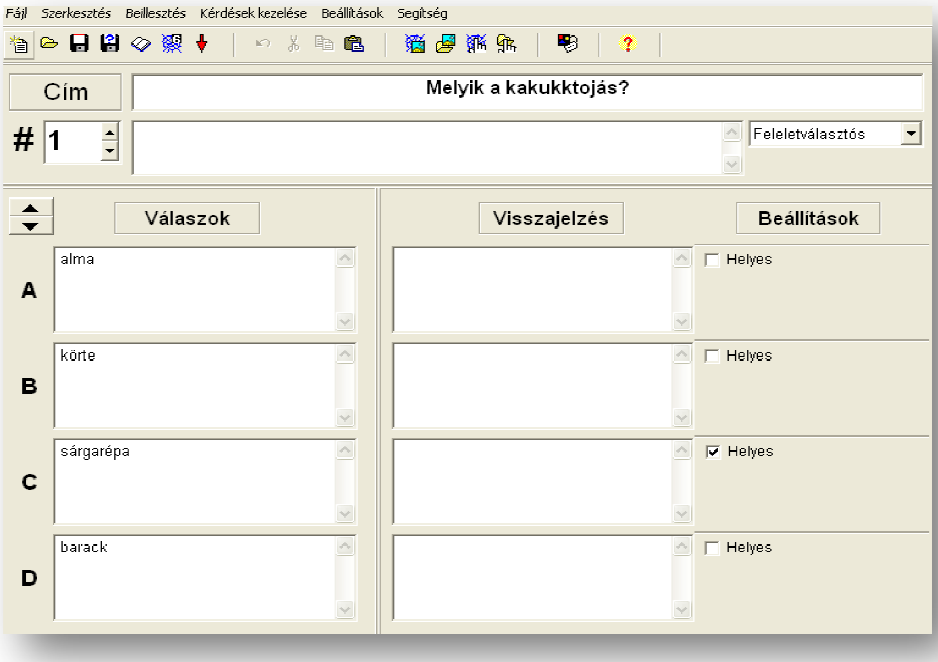
3. ábra. A Hot Potatoes program nyitóképe

A tesztkészítő program nyitóképén azonnal eldönthetjük, milyen típusú feladatot szeretnénk készíteni:

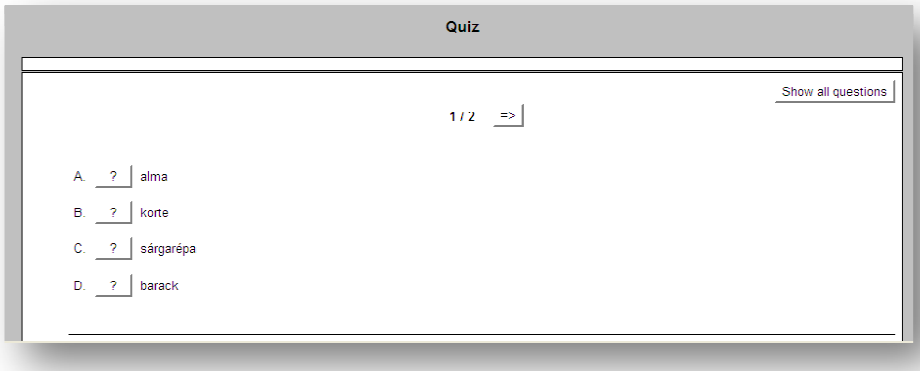
1. JClose - nyitott mondat (egy mondatba az üresen hagyott helyre kell beírni a kihagyott kifejezést, ami zárttá, teljessé teszi a mondatot)
2. JCross - keresztrejtvény
3. JQuiz – választásos kvíz feladatok létrehozására alkalmas (pl. kakukktojás keresés)
4. JMatch – párosítás
5. JMix – összekevert mondat helyes szórendjének megállapítása

A különböző típusú teszteket nem csupán hotpot formátumban, de html formátumban is el tudjuk menteni, így azonnal ki is próbálhatjuk „működőképességüket”, illetve megjelenésüket online formában.

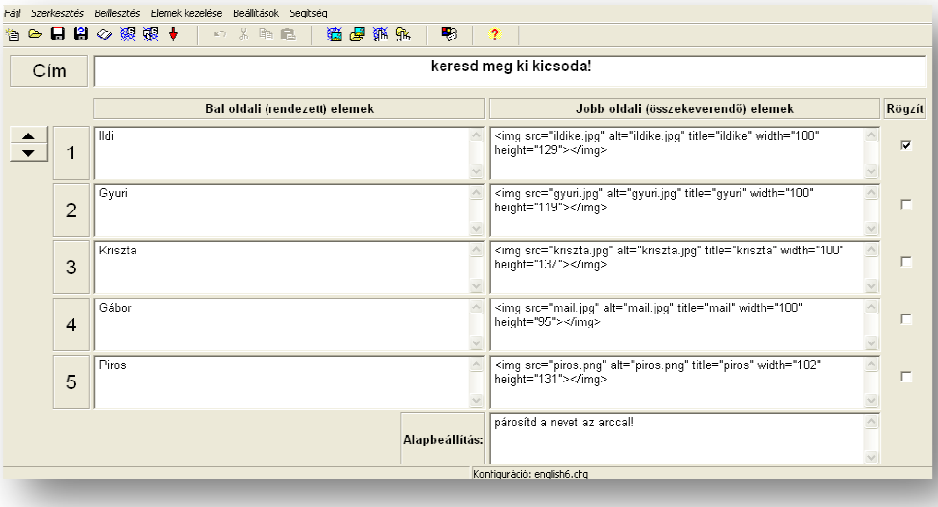
[3] letölthető: http://hotpot.uvic.ca/ címről



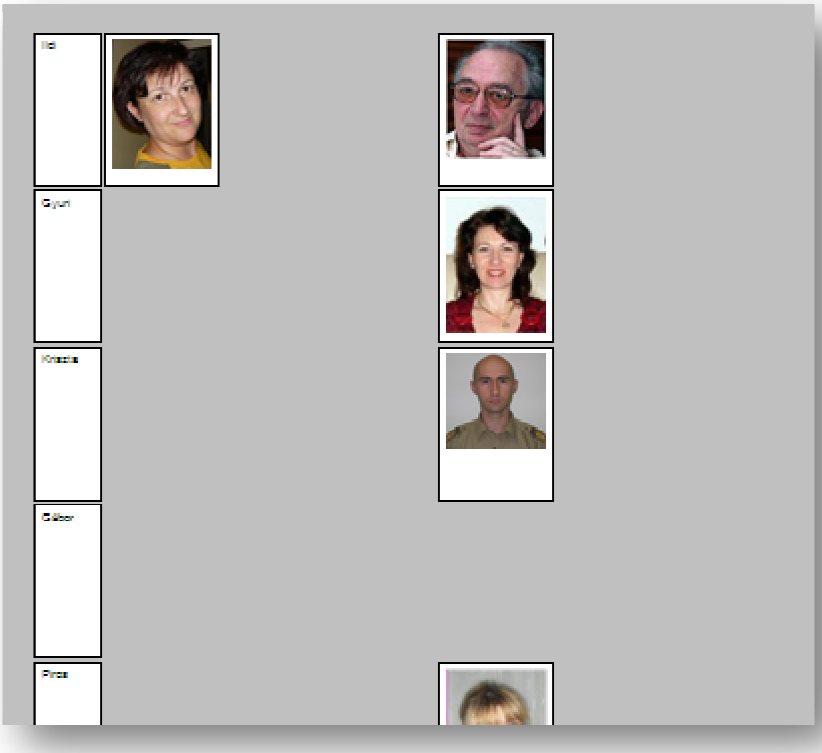
4. ábra. A kvíz szerkesztő munkaablaka



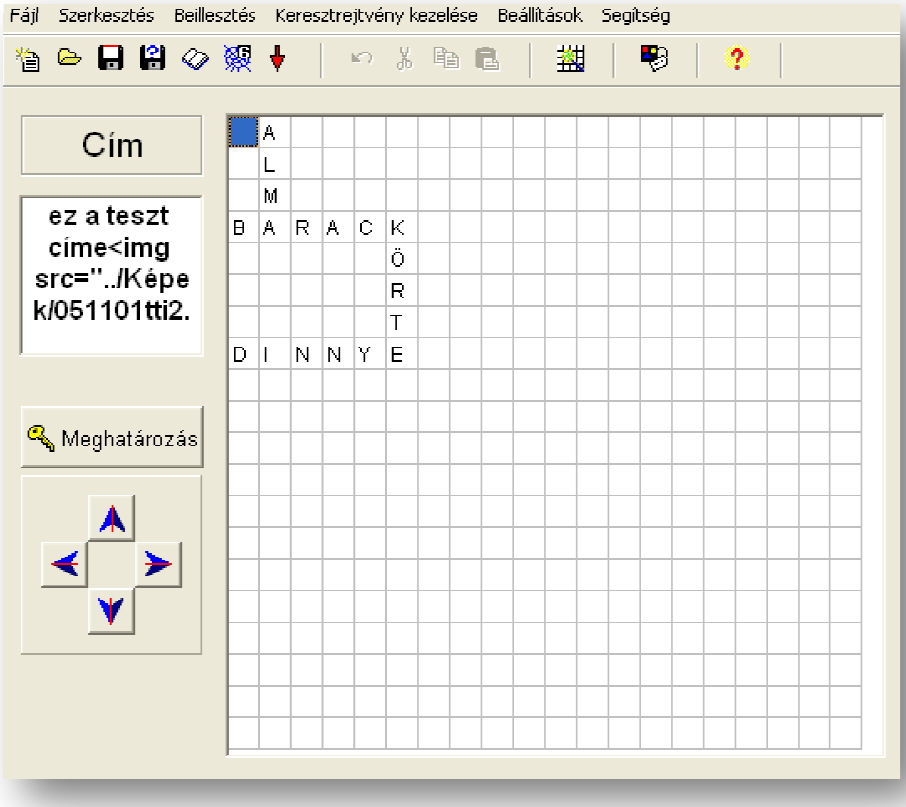
5. ábra. A teszt html-képe



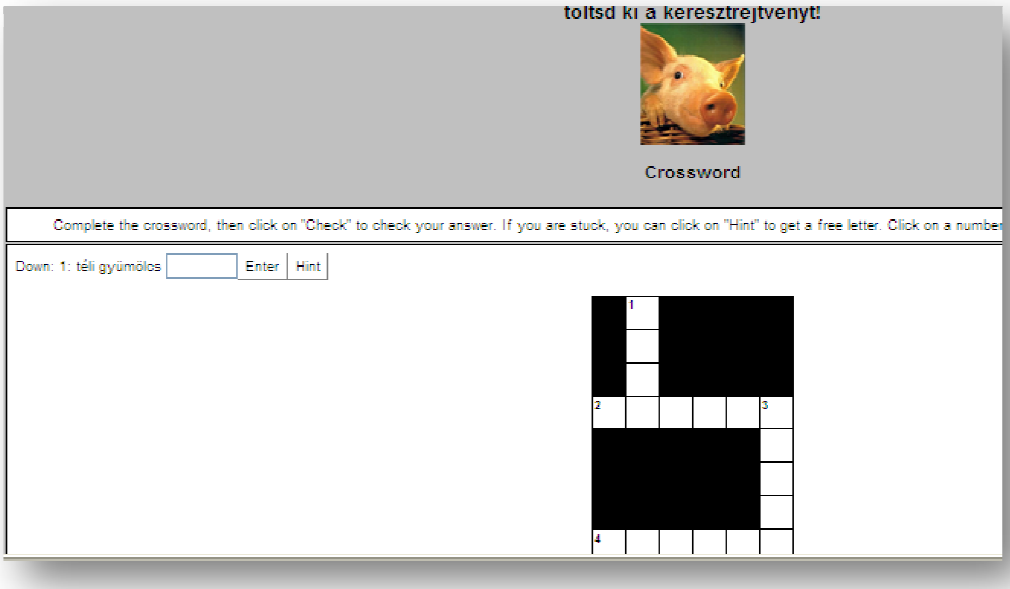
6. ábra. A párosítás-teszt szerkesztő munkaablaka



7. ábra. A teszt html-képe



8. ábra. A keresztrejtvény-szerkesztő munkaablaka



9. ábra. A keresztrejtvény html-képe

A Hot Potatoes tesztfeladatok jól használhatók önállóan is, egy-egy tanórán, ismétlésre, ismeretek rögzítésére, ellenőrzésére, vagy csak pihentetésül. Ugyanakkor akár vizsgafeladatokat is készíthetünk vele.

A feladatok sokszínűsége, kiküszöböli, hogy a gyakorló feladatok unalmassá, megszokottá váljanak a hallgatók számára. Ugyanakkor az oktatónak is kihívást jelent megfelelő minőségű feladatok kitalálása és megalkotása.

A Hot Potatoes teszteket használja a Moodle LMS rendszer is, beépített, modulként. Segítségével készíthetünk is tesztfeladatokat, de előre elkészített tesztjeinket is feltölthetjük a Moodle-ba.

Néhány Hot Potateos mintatesztet kipróbálhatunk a Rendszergazdátlanok portálon is[4].

QUANDARY

A Quandary olyan professzionális tesztkészítő rendszer, amely alkalmazásával valódi tesztlabirintusokat hozhatunk létre. Természeten lehetőség van itt is hagyományos, lineáris tesztfeladatok megoldására, amikor is, egyik feladat megoldása után jön a másik, de a program valódi jelentősége abban áll véleményünk szerint, hogy olyan hálók hozhatók létre a feladatokon belül, amikor egy feladatban a választól függ, hogy hova, milyen feladatra ugrunk tovább. Ezt úgy érhetjük el, hogy a feladat készítésénél az adott kimenetre beállítjuk az un. ugrópontot. Ezáltal beépíthető a tesztbe visszacsatolás is, azaz rossz válasz(ok) esetén előbb-utóbb visszairányíthatjuk a válaszadót az eredeti kérdéshez, ösztönözve a másképp, más úton való gondolkodásra.

[4] http://drseres.com/elearning/tesztek/hotpot/index.htm

Természetesen a pontozás is eltérő lehet.

- Nem csupán a jó megoldásokért tudunk pontot adni, de beállíthatjuk, hogy csak akkor tudjon továbbhaladni egy másik feladatra a tanuló, ha egy minimális szintet, minimális pontszámot elért az adott részben. Ezzel a módszerrel elérhetjük azt, hogy egy bizonyos, magasabb szintre csak akkor tudjon továbblépni, ha már jól begyakorolta az előző szint ismereteit, és abban az alapokat biztos elsajátította.

- Súlyozhatunk is a pontozásban, azaz egy-egy nagyobb súlyú részfeladatot magasabb pontszámmal is jutalmazhatunk, míg mások megoldásához alacsonyabb pontszámokat rendelhetünk.

- Ha nagyon szigorúak akarunk lenni, és el akarjuk kerülni, hogy a hallgatók próbálgassák a megoldásokat egy-egy feladatban - hogy melyik megoldás lehet jó -, nos abban az esetben a rossz válaszra kattintást büntethetjük un. negatív pontokkal, vagy, pontlevonással.

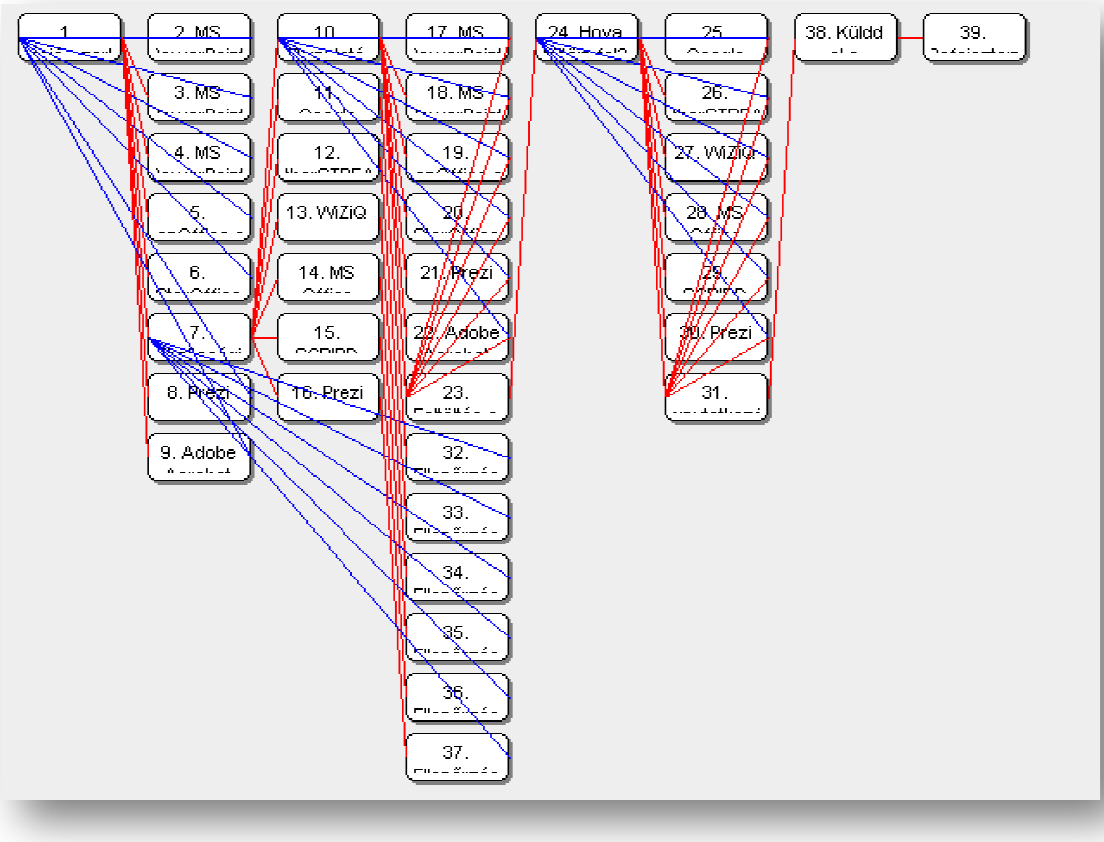
- Készítettünk már olyan teszteket is, amelyben csak akkor tudott a feladaton teljesen végighaladni a hallgató, ha jó választ adott minden kérdésre.

- Természetesen előfordulhat, hogy egy-egy feladatnak több jó, helyes megoldása is lehet, erre szolgálnak az elágazások. Attól függően, hogy melyik irányban indul a hallgató a feladat megoldásával, más és más úton haladhat tovább. A labirintus jelleg épp azt szolgálja a Quandaryben, hogy az összes lehetséges kapcsolatot létrehozzuk a feladaton, feladatsoron belül, és az összes lehetséges úton végigvezessük a hallgatót.

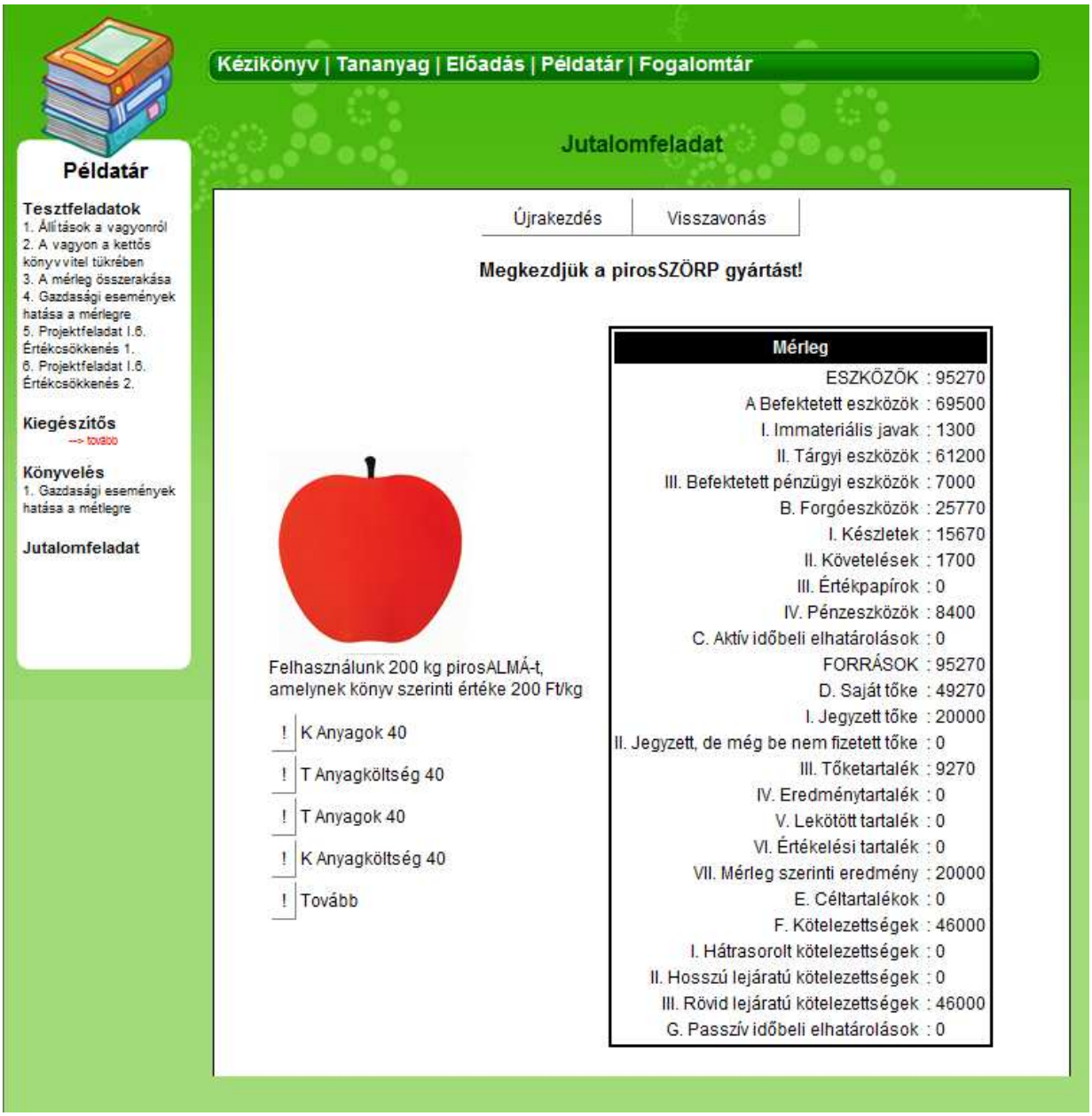
- De létrehozhatunk ún. ciklusokat is, azaz, olyan típusú utakat, amelyeken haladva addig nem tud érdemben továbbhaladni a feladatban a hallgató, amíg nem talál jó megoldást. Az ilyen feladatokban, látszólag tovább tud haladni, hiszen, a rossz (kevésbé jó) megoldás is vezet valahova, de előbb-utóbb a beépített kapcsolatok révén visszatér oda, ahol elrontotta, azaz, újra kell próbálkoznia, esetleg (és célszerűen) más úton, más megoldáson haladva.

- A szoftver lehetőséget ad időkorlát beállítására is, így maximalizálhatjuk az egy feladatsor megoldására biztosított időt.

Akárcsak a Hot Potatoes-ban, a Quandary-ben is nem csupán a saját file formátumában menthetjük el a feladatot (ami tulajdonképpen a szerkesztő nézet, hisz ezt megnyitva bármikor módosíthatjuk, bővíthetjük a feladatunkat) de html formában is elmenthetjük, így azonnal megnézhetjük, hogy milyen képet mutat a weben a feladat.



10. ábra. Egy quandary feladat kapcsolati hálója



11. ábra. Egy Quandary feladat html-képe

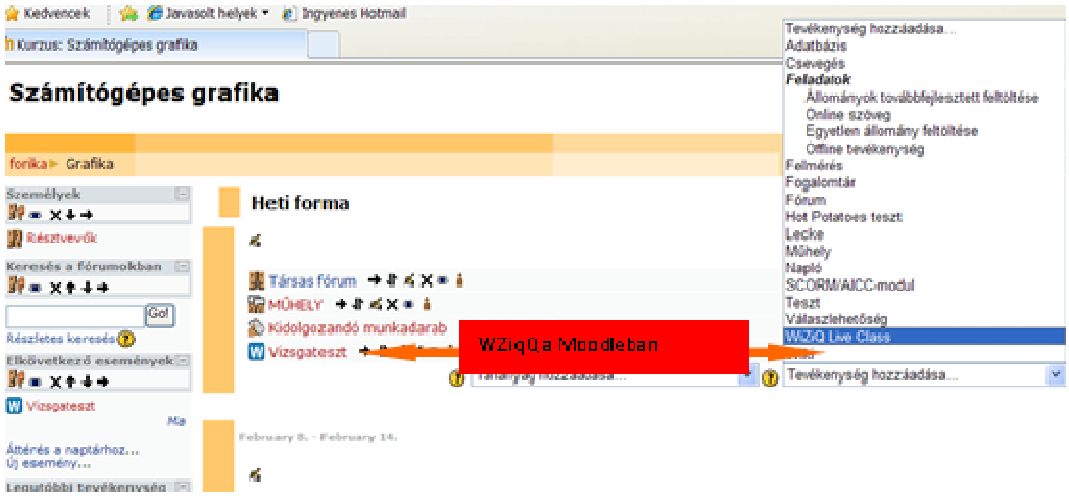
WiZiQ

A WiZiQ online oktatási portál olyan alkalmazásokat biztosít az oktatók részére, amellyel színesíthető az óravezetés és online ellenőrzés is megvalósítható. A WiZiQ oldalon történő regisztrálást követően részesei lehetünk egy világméretű oktatói hálózatnak, amelyen nemcsak tallózhatunk, hanem saját oktatási kínálatunkat is publikálhatjuk az érdeklődők számára. Elérhetjük a világ különböző pontjáról közvetített online órákat. Az oktatás nyelve nincs meghatározva, mindazonáltal az angol nyelven elérhetők vannak többségben.

A Moodle keretrendszerbe a WiZiQ szolgáltatásai beintegrálhatók, így olyan interaktív virtuális órákat hozhatunk létre, amelyeken interaktív táblát (whiteboard), online teszteket, PowerPoint prezentációkat, videókat, stb. használhatunk. A virtuális órákon kép- és hangkapcsolat létesül, ugyanakkor az oktató irányíthatja a résztvevők hozzászólásait. Bár a kontaktórákat nem lehet ezzel a lehetőséggel teljesen kiváltani, ugyanakkor a konzultáció és egyéni hallgatói problémák segítése megoldható. A diákok akár otthonról is tehetnek fel kérdéseket az oktatónak a virtuális óra időpontjában, így távoli oktató-diák kapcsolatot tudunk megvalósítani és a távolsági akadályok áthidalhatók.

Azokon a kontaktórákon, ahol számítógép használata általános és van internetelérés, a pedagógusnak lehetősége van olyan WiZiQ biztosította módszerek kihasználására, amellyel az online ellenőrzés megvalósítható. A WiZiQben található - illetve általunk létrehozott - online feleletválasztós tesztek használhatók a hallgatói felkészülés során, illetve beilleszthetők a kontaktórai feladatok közé is.

A WiZiQ lehetőségeinek egy része ingyenesen elérhető, bizonyos szolgáltatásai azonban fizetősek. Megfontolás kérdése, hogy mennyire tudjuk kihasználni az online módszert, ugyanakkor az alkalmazás mellett szólhat az, hogy integrálható a Moodle keretrendszerbe. Az általunk alkalmazott módszer esetében a Moodle keretrendszerbe integráltuk a WiZiQ szolgáltatásait és így a kurzusokon belülről lehetőségünk van virtuális óra - tevékenységként történő – meghirdetésére (12. ábra).



dszerbe

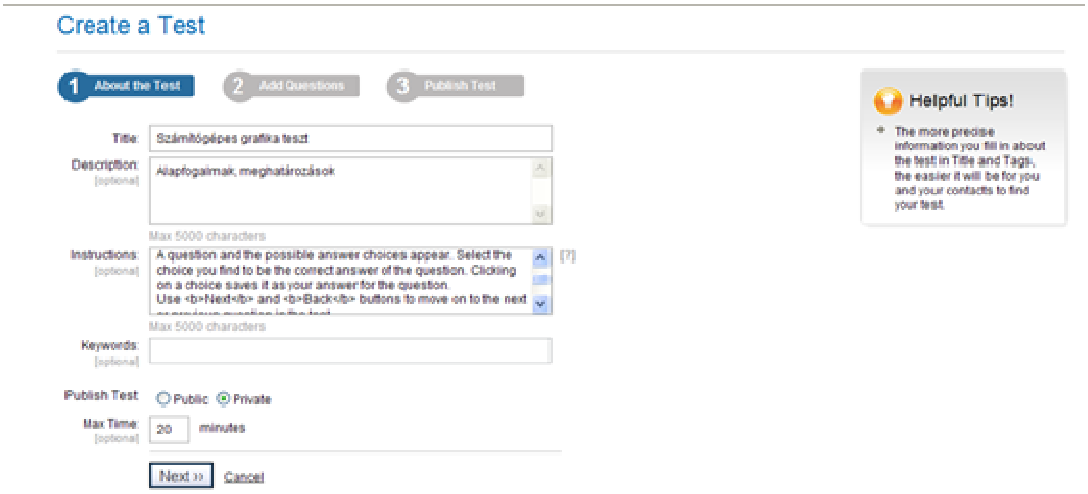
A virtuális óra meghirdetése során meg kell adnunk a tervezett óra nevét, amely nyilvános óra esetében akár a világ bármely pontjáról jelentkezők számára elérhető lesz ezen a néven, illetve a dátumát és az óra időtartamát, amely akár több óra is lehet. (13. ábra)

13. ábra Online óra meghirdetése

Az óra paramétereinek megadása után vállalkozhatunk arra, hogy felépítsük annak menetét. A WiZiQ-ben feleletválasztós tesztek létrehozására, tallózására, módosítására is van lehetőség. Online tesztek esetében lehetőségünk van már meglévő teszteket alkalmazni, ugyanis témakörök szerinti keresésre is lehetőséget biztosít a WiZiQ a tesztadatbázisban.

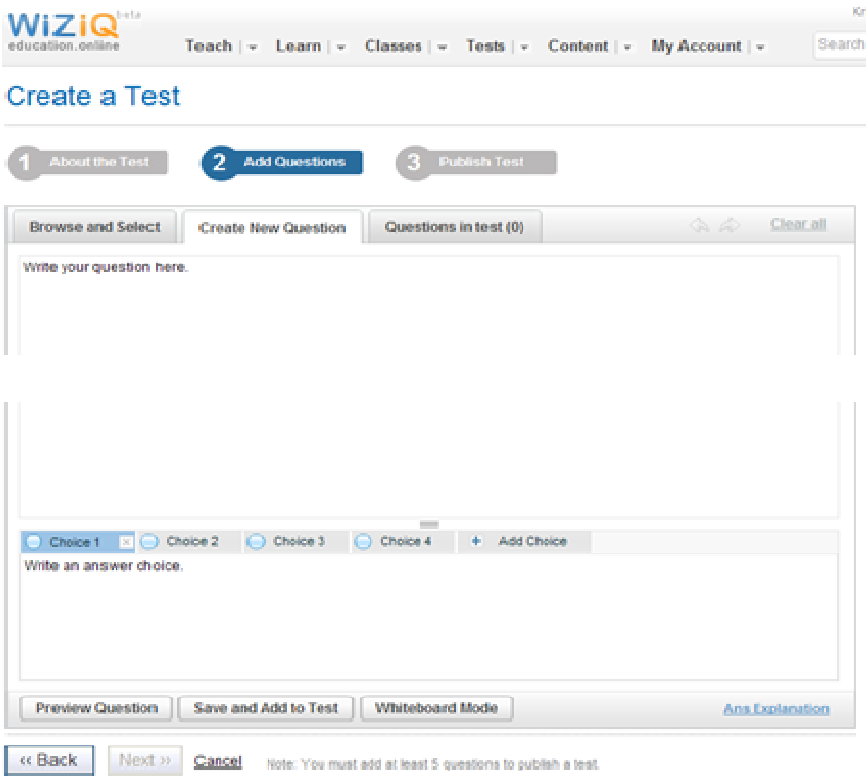
A megfelelő teszt kiválasztása után integrálhatjuk az általunk vezetett órába, amennyiben az ingyenes. Tesztek választására az általunk létrehozott teszteket böngészve is lehetőségünk van. Az online oktatási rendszerbe való regisztrálás során lehetőségünk van saját adatlap létrehozása mellett a saját óráinkat filmre venni, továbbá a tesztjeinket elmenteni, amelyet a későbbiek során tetszőlegesen felhasználhatunk.

Új teszt létrehozásához három alapvető lépést kell végrehajtanunk. Az első lépésben meg kell adnunk a tervezett teszt nevét, leírását és be kell határolnunk a megoldásra szánt időintervallumot. (14. ábra)



14. ábra Online teszt készítés a WiZiQ segítségével

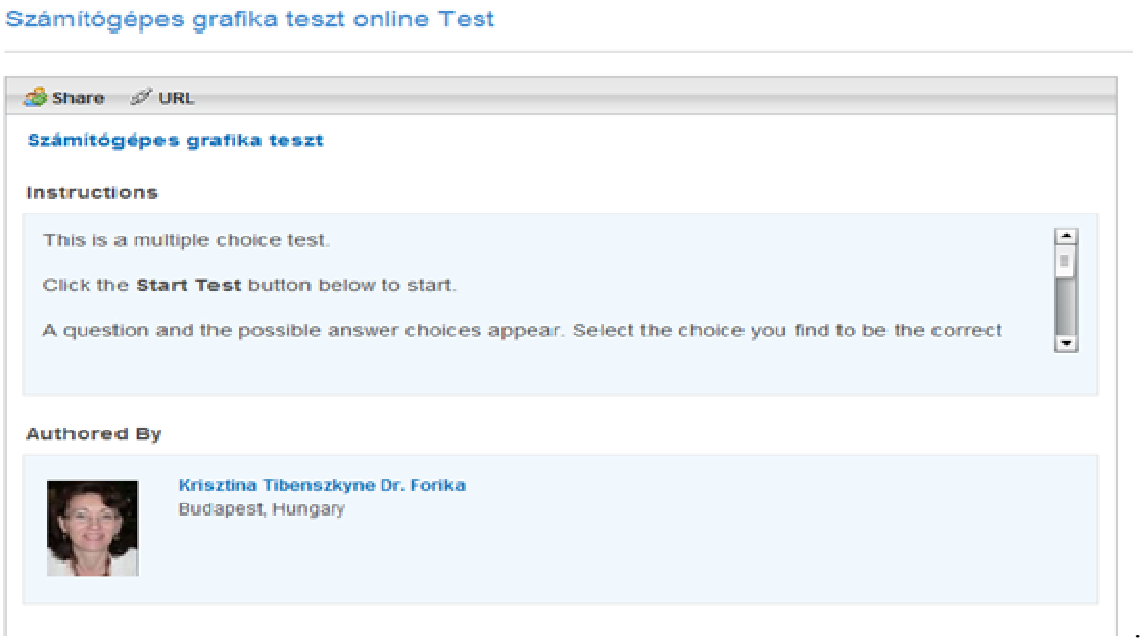
A második lépésben új kérdéseket hozhatunk létre. A WiZiQ akkor publikálja az elkészített tesztet, amennyiben az legalább 5 kérdést tartalmaz. A kérdések létrehozása során meg kell adnunk a válaszokat tetszőleges számú rossz és egy jó válasz meghatározásával. (15. ábra)



15. ábra Tesztkérdések létrehozása

A tesztkészítés harmadik fázisa a publikálás. Ez azt jelenti, hogy vagy eltároljuk a tesztet az adatbázishelyünkön a későbbi felhasználás céljából, vagy rögtön elérhetővé tesszük az internetezők számára. A tesztünk URL elérhetőségét el tudjuk juttatni a felhasználók

számára[5], illetve be tudjuk építeni a virtuális óránkba, vagy egy másik alkalmazásba (16. ábra)



ÖSSZEFOGLALÁS

A kivitelező szemszögéből a jelen tanulmány összefoglalása nagyon egyszerű: különféle tesztek létrehozó és „lejátszó” szoftver-eszközeinek sokasága áll a rendelkezésünkre, a tanulást segítő egyéb rendszerekkel összehangolhatóan is, ingyenesen is. A segítségükkel áttekinthető, megbízható méréseket (többek közt: teszteket) készíthetünk. A kezelésük megtanulása esetenként magasabb számítástechnikai ismereteket és kitartó kísérletező kedvet is követelhet, de az áttekinthető, biztonságos eredmény megéri.

Kényes helyzetben van a tananyagszerző (aki nem feltétlenül ugyanaz, aki a teszteket „összekattintgatja”). Nagyon csábító, hogy elmerüljön a technikai lehetőségek sokféleségébe és az ismeret-visszakérdezés látványos megoldásaiba. De hogyan mérjük a tanulás tényleges távlati célját, a személyiségfejlődést, vagy akár a közvetlen tanulási célt, a kompetencia bővülését? A szakmai tisztesség azt kívánja, hogy a tananyagszerző ne a könnyebb utat válassza, hanem fejben „játssza le” a tanulás lehetséges útvonalait és az (ön)ellenőrzések rendszerét ennek mérföldköveihez igazítsa, a megtett út regisztrálására, a következő lépés kijelölésére, a tanulás iránti motiváltság fenntartására.

[5] Egy példa: http://www.wiziq.com/online-tests/10771-számítógépes-grafika-teszt

A tanár, a képzésvezető, aki a jelenléti tanulási szakaszokban (személyesen vagy virtuálisan, akár egy WiZiQ-filmfelvételen) ismeret-továbbítóként és a tanulás látszólagos irányítójaként megjelenik, ebben a szerepkörben „előadóművész”: a jól előkészített tananyag mindent a keze alá készít. A felsorolt szoftverek ebből a szempontból is könnyen működtethetők. A folyamat esetleges kizökkenéseinek kezelése nem a képzésvezető dolga, …

… hanem tutori feladat. (A tutor persze lehet maga a képzésvezető is: csak az a fontos, hogy a tanuló korlátlan bizalmát megszerezni hivatott tutor ne legyen ugyanaz a személy, aki a tanuló teljesítményének „hivatalos” elbírálását, minősítését, jogkövetkezménnyel járó értékelését végzi.) A tanulmányban jellemzett eszközök mindent megtesznek, ami automatizálható: pontoznak, visszajeleznek, naplóznak – a tutorra „csak” az emberi érzékenységet igénylő esetek maradnak: a tanulónak az időnként szükségszerűen bekövetkező elbizonytalanodásai, eltévedései, tanulási holtpontjai.

És nem utolsósorban: a tanuló szemszögéből. A sokféle, azonnali visszajelzést adó (ön)ellenőrzési lehetőségeket a tanulók kedvelik: jelen tanulmány szerzői közül többek személyes tapasztalata, hogy egy-két alkalom után már elvárják. Vigyáznunk kell azonban: ennek a hátterében kétféle indíttatás is lehet. Az adott témakör iránt érdeklődő tanuló számára ez a többféle struktúrában való megközelítés, az elmélyülés eszköze. A külsőleg motivált, a tantárgyon, tanfolyamon esetleg csak „túlesni” akaró tanuló számára viszont a „tantárggyal való kényszerű foglalkozás” látványos és könnyű módja, ahol – ha nem zárjuk ki előre ennek minden lehetőségét – bizony a gondolkodást a találgatás, a kompetencia-szerzést az ismeret-visszamondás helyettesítheti.

Az összefoglalás összefoglalásaként megállapíthatjuk, hogy szinte csak a fantázia és a rászánt fáradozásunk korlátozza a kézrealló, könnyen hozzáférhető eszközök használatát a tanulás (ön)ellenőrzésének területén. A feladatunk az, hogy ezt az eszközrendszert ne a mindent a varázspálcától váró varázslóinas felületességével, hanem a tevékenysége hosszú távú hatásait mérlegelő értelmiségi felelősségével használjuk.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

[1] Kende. György - Seres, G. -N. (2008. május 21). *Tests and Knowledge Management in Modern Higher Education – the e-Learning* . Letöltés dátuma: 2010. március 22, forrás: elearningeuropa.info: http://www.elearningeuropa.info/files/media/media15805.pdf

[2] Korom, E. (dátum nélk.). *A felsőoktatásban tanulók motiválhatósága elektronikus támogatással.* Letöltés dátuma: 2009. augusztus 10, forrás: Budapesti Gazdasági Főiskola,Külkereskedelmi Kar, Elektronikus könyvtár: http://elib.kkf.hu/okt_publ/tek_2004_16.pdf

[3] Szegediné Lengyel, P. (dátum nélk.). *Számviteli alapismeretek, elektronikus tankönyv.* Letöltés dátuma: 2010. március 22, forrás: pirosPONT: http://www.lengyelpiroska.hu/e2.html

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Munkácsi Zsuzsa – Muntag András – Pávó Gyula –

Weidinger Tamás – Szarvas Gábor

A LÉGIKÖZLEKEDÉSI ZAJ TULAJDONSÁGAI ÉS TERJEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA BUDAPEST-FERIHEGY NEMZETKÖZI REPÜLŐTÉR KÖRNYEZETÉBEN

CÉLKITŰZÉS

A légiközlekedéssel kapcsolatos tevékenység során a környezetet különböző káros hatások érik. Világszerte jelentősen csökken a nagyvárosok repülőterei és a lakott területek közti távolság. Egyre nagyobb tömegeket érint a repülőtéri tevékenység, illetve a fel- és leszállási műveletek hanghatása.

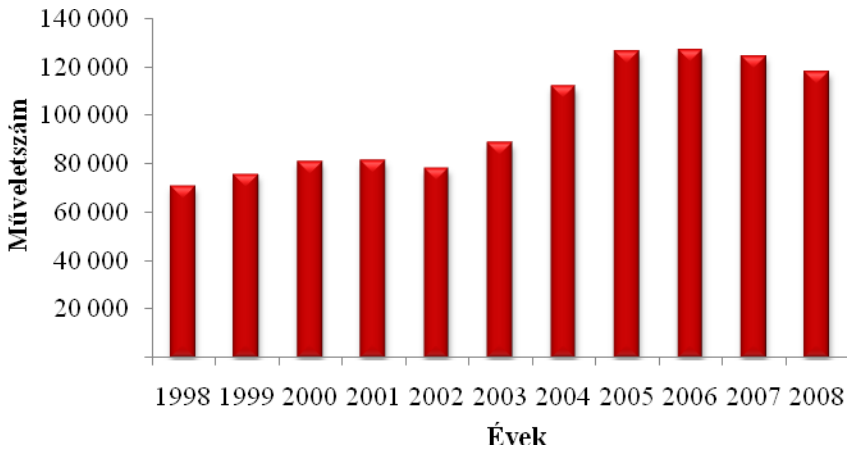
Írásunkban áttekintjük a ferihegyi nemzetközi repülőtér zajjellemzőit, majd a repülési zajt befolyásoló időjárási tényezők lehetséges hatásait elemezzük. Célunk annak megismerése, hogy a különböző időjárási helyzetek okoznak-e kimutatható változást a mért zajszintben, s azok milyen mértékben érvényesülnek. Továbbá, hogy található-e kapcsolat a meteorológiai elemek változásai (mint a szélsebesség és irány, relatív nedvesség, hőmérsékleti rétegződés, határréteg vastagság) és a nagyobb zajjal járó repülési események (fel- és leszállások) bekövetkezésében, ami miatt a környékbeli lakosok számára a zajterhelés a szokásosnál is zavaróbb lehet.

A ferihegyi zajmérések feldolgozásában támaszkodunk *Csermely* és *Wantuch* 2009-es munkájára [1], amelyben a szélirány, szélsebesség, látástávolság és csapadék zajterjedésre való hatását elemezték két távoli mérőpont adatainak különbségei alapján. Felvetették további meteorológiai elemek, mint a hőmérséklet és a hőmérsékleti rétegződés bevonását is a vizsgálatokba. A nemzetközi szakirodalomból megemlítjük *Clarke et al.* 2004-es cikkét [2]. A szerzők a bostoni repülőtéren folytattak vizsgálatokat az időjárás repülési zajra kifejtett hatásairól. Kidolgozták a NOISM modellt, mellyel az időjárás előrejelzési adatokat figyelembe véve az esetek 95%-ban „meg tudták jósolni" a keletkezett zajt. Az időjárás hatásainak kimutatását a zajcsökkentő repülési eljárások finomítása követte, amellyel sikerült csökkenteni a zajterheléssel érintettek számát. A zajklimatológiai feldolgozások mellett mi is futtattunk egy zajszimuláló modellt (IMMI v6.3.1), hogy alátámasszuk a meteorológiai hatások fontosságát a repülési műveletek zajterhelésében [3], s a későbbiekben zajelőrejelzéseket végezhessünk, s ajánlásokat fogalmazhassunk meg a ferihegyi repülési eljárások tervezéshez.

BEVEZETÉS

A repülőgépek le-, és felszállása világszerte sűrűn lakott területekhez közel zajlik. A ferihegyi repülőtér is Budapest közigazgatási határának térségében, a város DK-i peremén helyezkedik el.

Magyarországon a regisztrált zajpanaszok jelentős része a légi közlekedéssel kapcsolatos. A repülőterek forgalma világszerte folyamatosan nő. A Budapest-Ferihegy Nemzetközi Repülőtéren a megnyitás évében (1950) 50 ezer utas fordult meg; ezzel szemben 2008-ban az utasok száma meghaladta 8,4 milliót. A gyakorlatban az utasok számával szokás jellemezni a forgalmat, esetünkben a műveletszám[1] a lényegesebb, melynek évenkénti alakulását az *1. ábra* szemlélteti. Az elmúlt két évben bekövetkezett gazdasági visszaesés elmúltával a légi forgalom résztvevői további forgalomnövekedésre számítanak.



1. ábra. Műveletszámok 1998–2008 között [4].

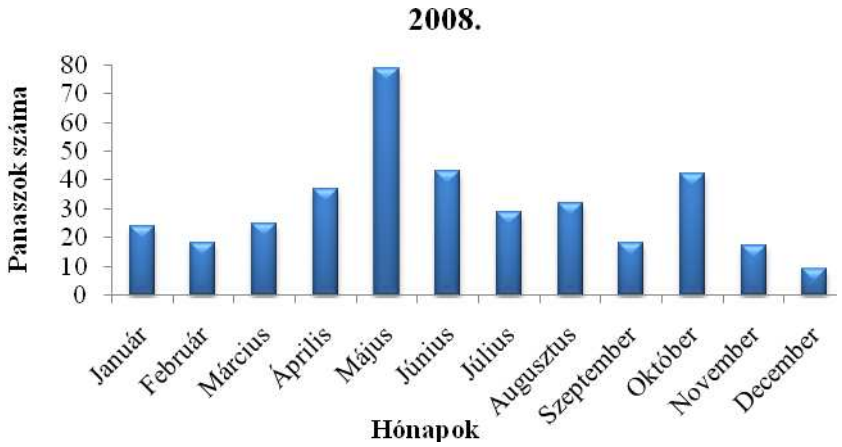
A ferihegyi repülőtéri adatok alapján 2008-ban 373 repülési zajjal kapcsolatos bejelentés érkezett. Ezek havi eloszlását a

2. ábra*án* szemléltetjük. A májusi kiugró érték hátterében a nyári menetrend növekvő forgalma, illetve új repülés eljárások bevezetése áll, amely az addigiakhoz képest szokatlan útvonalakra irányította a forgalmat. Októberben a téli menetrend bevezetésével járó kevesebb repülés miatt kevesebb panaszt várunk, de ekkor pálya felújítási munkálatokat végeztek, ami miatt a 2-es pálya forgalma megnövekedett. Elsősorban a forgalom intenzitása hat a panaszok számára, de a panaszkezelési tapasztalat azt mutatja, hogy nincs minden esetben ilyen egyértelmű magyarázat.

Légiközlekedéssel kapcsolatos panaszok a Nemzeti Közlekedési Hatósághoz, a HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt.-hez, és a MALÉV Zrt.-hez is érkeznek. Összehasonlításként: a bécsi repülőtérhez beérkezett panaszok száma évente meghaladja a tízezret [5].

[1] Műveletszám (ATM: air traffic movements): a le-, és felszállási gépmozgások összege.

A ferihegyi repülőtéren a zajvédelmi munka során figyeltek fel arra, hogy a lakossági bejelentések nem mindig köthetőek az átlagostól eltérő repülési terheléshez, vagy géptípushoz. Célunk az ilyen típusú zajesemények vizsgálata volt. Feltételezésünk szerint a zaj-bejelentések idején jellemző időjárási helyzet úgy befolyásolhatja a hangterjedést, hogy azt a lakosok az elfogadhatóbbnál hangosabbnak érzékelik. Ennek igazolása, vagy elvetése miatt is, áttekintettük a ferihegyi repülőtér klimatológiai adottságait, majd összevetettük a zajeseményeket az időjárási és a forgalmi adatokkal. A forgalmi események zajhatását az IMMI v6.3.1 zajmodellező szoftverrel szimuláltuk és összehasonlítottuk a mért értékekkel. Vizsgálatainkat 2008. második félévére végeztük. A bemutatásra kerülő zajklimatológiai feldolgozások és a zajesemények okait szemléltető esettanulmányok hozzájárulnak Budapest-Ferihegy Nemzetközi Repülőtér környezeti állapotának leírásához, a repülőtér és a lakosság közötti kapcsolat fejlesztéséhez, a tényszerű tájékoztatáshoz és a zajvédelmi döntések előkészítéséhez.



2. ábra. A Budapest Airport Zrt.-hez beérkezett zajpanaszok (telefon, posta, e-mail) 2008-ban.

A környezeti zaj és hatásai

A környezeti zaj rendelkezik a hangra jellemző tulajdonságok összességével, de emellett olyan akaratlan, vagy káros hang, amelyet emberi tevékenység kelt, és többek számára zavaró. Mindemellett ártalmas az élőlények egészségére is. A Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium 1997. évi becsült adatai szerint az 55 dBA[2]-nál nagyobb egyenértékű zajszint[3] Magyarország népességének körülbelül 58%-át terheli [6]. A zaj káros hatásai többek között halláskárosodásban, stressz okozásában, szív-és érrendszeri betegségekben, és emiatt munkaidő kiesésben, figyelemcsökkenés miatti hibákban nyilvánulnak meg.

[2] dB: decibel, a hangerősség (intenzitás) mértékegysége. A dB*A*: decibel *A* frekvencia-súlyozással, amely az emberi hallószerv érzékenységének követésére szolgál.
[3] egyenértékű, vagy ekvivalens zajszint (L_{Aeq}): a zajnak meghatározott időre vonatkoztatott négyzetes átlagértékének decibelben kifejezett mértéke (frekvenciasúlyozott).

A repülési zaj

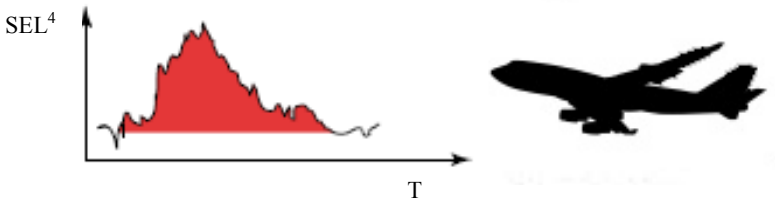
A mai repülőgépek sokkal csendesebb üzeműek, mint a 30–40 évvel ezelőtti elődeik. E kedvező tulajdonságok mellett azonban ma lényegesen több légi jármű üzemel, mint akár 10 évvel ezelőtt és a repülések számával nő a repülőterek környezetére nehezedő zajterhelés is.

Három forrásból származik zaj a repülőgépeken:

- a főhajtóművek és főleg a földön járatott segédhajtómű zaja,
- az aerodinamikai zaj, ami a levegő törzsön, és vezérsíkok mentén való áramlása közben keletkezik. Kis magasságban növeli a zaj erősségét a nagyobb levegő-sűrűség, illetve a nagyobb haladási sebesség.
- a személyzetet érintő zaj, ami az előző kettő csoportba soroltak mellett tartalmazza például a fedélzeti légkondicionáló berendezések zajhatását is.

A repülési zaj impulzusos komponenseket is tartalmazó (*3. ábra*) állandó szintű mélyfrekvenciás zaj, mely nem tekinthető pontforrásnak, amennyiben az észlelőtől kis távolságra következik be a repülési zajesemény. Nagy távolság esetén a mély frekvenciájú, állandó komponens hallható, ekkor beszélünk pontforrásról.

A repülőgép hajtóműve nyomáshullámokat kelt. Ez az elsődleges zajforrás. A hanghullámok a haladási irány felé eső oldalon sűrűsödnek [7, 8]. Minden repülőgéptípusra sajátos zajszint és frekvenciaspektrum jellemző. Az jelenti a problémát, ha a zaj frekvenciája a hallható tartományba esik.



3. ábra. Az impulzus-szerű repülési zaj sematikus ábrázolása [9].

A nemzetközi polgári repülésről Chicagóban 1944-ben aláírt egyezmény alapján 1971-ben fogadták el a Chicagói Egyezmény függelékeit (Annexek). Ennek alapján várják el a repülőtér üzemeltetők a „zajbizonyítvány” bemutatását a légitársaságoktól minden egyes üzemeltetett járműre. A Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (ICAO) 16-os Annex-e a környezetvédelemre (azon belül a zajvédelemre) vonatkozó nemzetközi szabványokat és ajánlásokat tartalmazza. Ebben a dokumentumban az EPNL zajszintet[5] tűntetik fel, melynek alapján a légi járműveket kategóriákba sorolják, és kiszámítják a zajdíjat, amit minden egyes művelet után ki kell fizetnie a légitársaságnak.

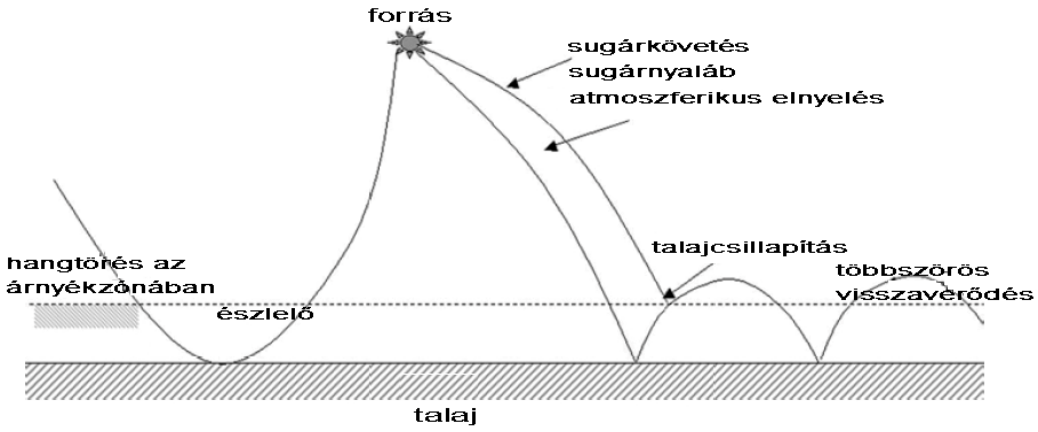
[4] SEL: Zajesemény-szint (Sound exposure level)
[5] EPNL zajszint: Effektív érzékelt zajszint (Effective perceived noise level).

Zajvédelem

A zajvédelmi lehetőségeket prioritásuk szerint célszerű kezelni. Elsődleges fontosságú és leghatékonyabb a zaj-emisszió csökkentése különböző technológiai megoldásokkal. Ezt követi a zajterjedés (transzmisszió) csillapítása, ami a légi járművek földi műveletei esetében például zajvédő dombok emelésével lehetséges, repülések esetén pedig többek között az útvonaltervezéskor lehet és kell megfelelő védőtávolságot biztosítani a lakott területektől. Harmadik lehetőség a „zajt elszenvedő" védelme például személyi védőeszközökkel [10]. Ez utóbbi prioritás a ferihegyi repülőtéren a 2008-ban indított passzív akusztikai védelmi programban valósult meg. Modellszámítások alapján meghatározott, a zajnak leginkább kitett területeken a lakóingatlanokat zajvédelemmel látták el – ez is az utóbbi évek környezetvédelmi fejlesztéseinek az eredménye.

A zajterjedés és az időjárás kapcsolata

Szabadon álló, mozdulatlan hangforrás esetén, állandó hőmérsékletű, tiszta, száraz és mozdulatlan levegőben a hanghullámok minden irányba azonos sebességgel terjednek. (A hangforrástól távolodva kétszeres távolságban ~6 dB-lel csökken a hangintenzitás szint.) Bármilyen egyéb eltérés torzulásokat okoz a hanghullámok koncentrikus gömbjeiben, ahogy az a *4. ábrán* is látható.



4. ábra. A szabad térben történő zajterjedés sajátosságai [2].

A zaj terjedését befolyásoló tényezők:

- a forrás típusa (felület, vonal-, vagy pontforrás),
- az észlelő forrástól való távolsága,
- akadályok, falak épületek,
- talaj elnyelés,
- visszaverődés,
- atmoszferikus csillapítás,
- szél,
- hőmérséklet, és hőmérsékleti gradiens,
- légnedvesség,
- csapadék [9].

A hang erőssége és terjedése a felsoroltakon kívül függ a levegő vertikális hőmérsékleti rétegződésétől. Megjegyezzük, hogy a magas hangok a távolság növelésével gyorsabban csillapodnak, mint a mélyek. A hőmérséklet növekedésével és a relatív nedvesség csökkenésével a zajcsillapítás növekszik, míg a csapadéktevékenység csupán kis mértékben befolyásolja (inkább növeli) a zajhatást [1, 8, 11].

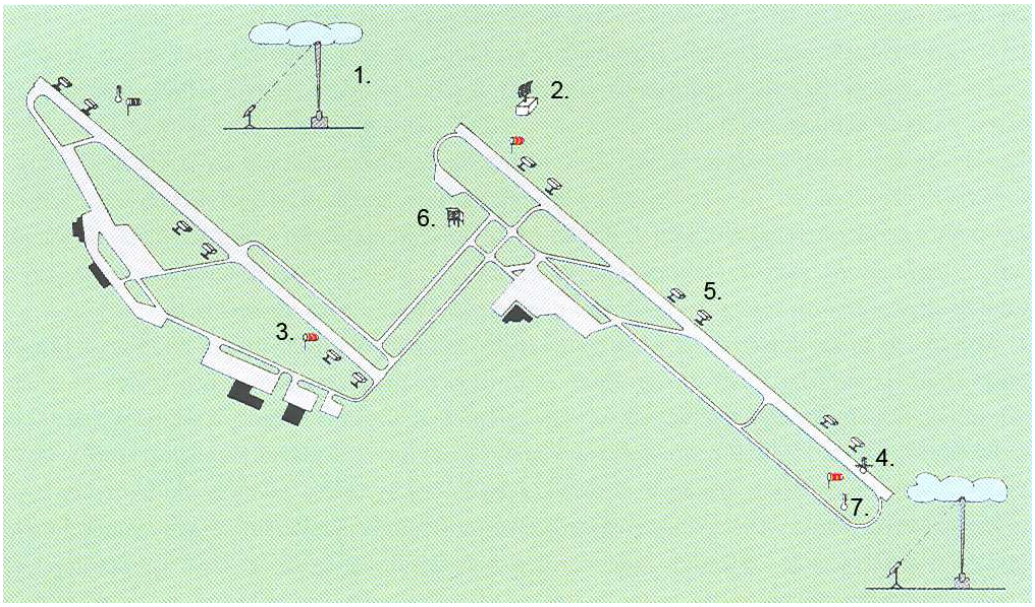
A FELHASZNÁLT ADATBÁZIS

A vizsgálatainkban repülőtéri forgalmi adatokat (járatszám, géptípus, fel- és leszállási idő, pályavég) a zajmérő rendszerből származó információkat és a meteorológiai mérési eredményeket (felszíni és rádiószondás adatok) használtunk fel. Munkánkban a lakosságot érintő zajterhelés hátterére koncentráltunk. Minden esetben a főváros felé eső repüléseket, illetve a futópályák ÉNy-i meghosszabbításában elhelyezkedő, azokhoz a legközelebb eső 2. és 3. számú zajmonitor állomások (*5. ábra*) értékeit vettük figyelembe. Fontos megjegyezni, hogy a fővárosi területről érkezik a zajpanaszok 92%-a [4].

5. ábra. A zajmonitor állomások elhelyezkedése a ferihegyi repülőtér körül [4].

A meteorológiai adatbázist úgy építettük fel, hogy térben és időben a lehető legmegbízhatóbban reprezentálja a zajeseményeket. Ezért használtuk fel a közeli pestszentlőrinci Marczell György Meteorológiai Főobszervatórium (Országos Meteorológiai Szolgálat, OMSZ) rádiószondás

méréseit (00 és 12 UTC), amikor a déli és éjszakai gépmozgásokat vizsgáltuk. Más esetekben a repülőtér területén elhelyezkedő meteorológiai műszerkert (
6. ábra) nagy felbontású méréseit használtuk. Klimatológiai feldolgozásokhoz további, interneten is könnyen hozzáférhető észleléseket alkalmaztunk (pl. vecsési meteorológiai mérések [12]).



6. ábra. A pályák mentén elhelyezett meteorológiai műszerek helyzete:
1 – felhőalap mérő; 2 – meteorológiai radar; 3 –szélirány és szélsebesség mérés; 4 – betonhőmérő;
5 – látástávolság mérő; 6 – meteorológiai műszerkert; 7 – léghőmérséklet-mérő [13].

A zajmonitor rendszer

A ferihegyi repülőteret működtető Budapest Airport Zrt. fontos feladata – *a 18/1997. (X.11.) KHVM-KTM együttes rendelet alapján* – a zajszennyezés mérése, a hatóságok és a lakosság tájékoztatása. Ezt szolgálja a hat fix merőpontból álló repülőtéri merőrendszer (*5. ábra*) és a mobil zajmérő egység. Az állomások folyamatosan mérnek. A legnagyobb felbontású adat a másodperces, az állomás ebből önállóan képzi az óránkénti statisztikát, vagyis a háttér (*Bacgr* L_{eq}), a zajesemény (*Event* L_{eq}) és az együttes zaj L_{eq} értékét. Felhasználtuk továbbá az (L_{max}[6]) értékeket is.

Zajeseménynek a meghatározott, esetünkben a 70 dB küszöbszintet (SETL) meghaladó zajt nevezzük. Ha a zaj ezt legalább 10 másodpercig meghaladja (manuálisan beállítható érték), akkor jegyez fel az állomás zajeseményt. Az állomás által szolgáltatott idő -, és koordináta - adat, továbbá a hangfelvétel segít azonosítani, hogy a zaj repülési eredetű volt-e.

A rendelkezésre álló nagyszámú és sok paramétert (háttér zaj, egyenértékű zajszint, zajesemény szint, maximum és minimum értékek, kétperces, órás és napos átlagok, stb.) tartalmazó adatbázisból néhányat kiragadva szemléltetjük a lehetséges összefüggéseket.

[6] L_{max}: a vizsgált zaj adott időállandóval mért legnagyobb (A-) hangnyomásszintje a mérési idő alatt.

A rádiószondás mérésekből leszármaztatott mennyiségek

A repülési folyamatokban kiemelt szerepe van a felszín közeli légtérnek. Ezért külön is foglalkozunk a planetáris határréteg (Phr) szerkezetével, stabilitási viszonyaival. Az OMSZ rádiószondás adatbázisából határoztuk meg a Phr vastagságát, az alsó 300 m-es, illetve a határréteg (ha az 300 m alatti) hőmérsékleti gradiensét, szélsebesség és szélirány nyírását. E paraméterek a legfontosabbak a hangterjedés szempontjából.

A planetáris határréteg (Phr) a légkör alsó 0,1–2 km-es rétege, ahol a felszín, mint mechanikus és termikus kényszer hatása megjelenik. Ez a szélfordulási vagy Ekman-réteg (környezetvédelemben a keveredési réteg). Itt a súrlódási erő összemérhető a nyomási gradiens erővel, illetve az eltérítő (Coriolis-) erővel. A határréteg szerkezetét a mechanikai és termikus eredetű turbulens örvények alakítják. Ezek a változások órás vagy annál rövidebb időskálán zajlanak le. A Phr vastagsága időben és térben is változik, de jellegzetes napi menettel rendelkezik. Nappal (konvekció) magasabb, éjjel (stabil rétegződés, mechanikus turbulencia) alacsonyabban helyezkedik el.

A planetáris határréteg magasságának megadására két eljárást alkalmaztunk: (I.) felhasználtuk az ECMWF (Európai Középtávú Előrejelzési Központ) modelleredményeit, illetve (II.) a pestszentlőrinci (12843) rádiószondás mérések (Temp távirat) alapján számítottuk ki. Konvektív Phr esetén (12 UTC rádiószondás adatok) az ún. részecskemódszert [14] alkalmaztuk.

E módszer a virtuális potenciális hőmérsékleti profil vizsgálatán alapul. A magasság szerinti virtuális potenciális hőmérsékleti profilon megkeressük, hogy melyik az első magassági szint, ahol a profil újra felveszi a kiindulási, azaz a felszínen vagy annak közelében mért virtuális potenciális hőmérsékleti értéket. A kapott magasság a Phr teteje.

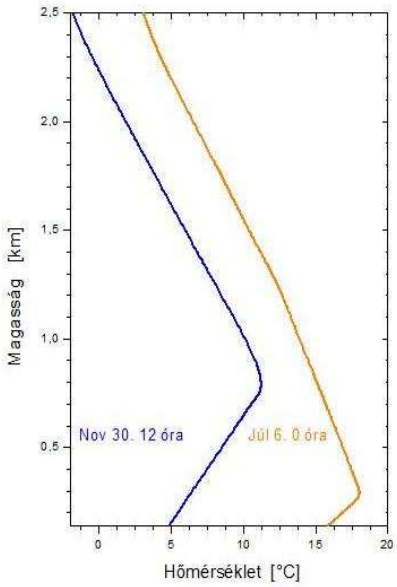
Virtuális hőmérsékletnek azt a hőmérsékletet nevezzük, amely a száraz levegőt jellemezné, ha adott nyomáson sűrűsége megegyezne az r [kg/kg] keverési arányú nedves levegő sűrűségével:

$$T_v = T(1 + 0{,}608 \cdot r) \tag{1}$$

ahol T_v a virtuális hőmérséklet, és T a léghőmérséklet. A virtuális potenciális hőmérséklet pedig az az érték, amit ez a légrész felvenne, ha száraz adiabatikus folyamat során azt 1000 hPa-os nyomási szintre (p_0) vinnénk:

$$\Theta_v = T_v \left(\frac{p_0}{p}\right)^{0{,}286} \tag{2}$$

A vízgőzt tartalmazó levegő keverési arányát a vízgőz, és a száraz levegő tömegaránya adja.

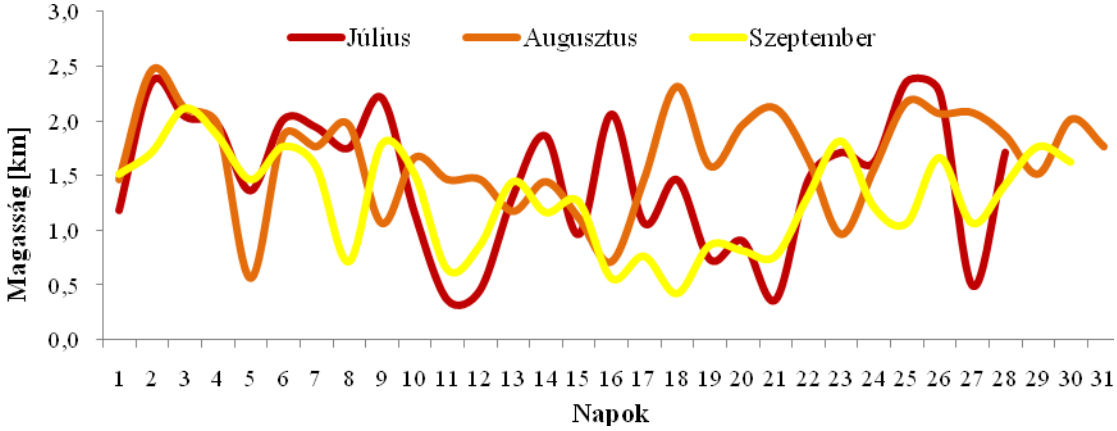


7. ábra. A nappali (konvektív) és az éjszakai (stabilis) határréteg szemléltetése.

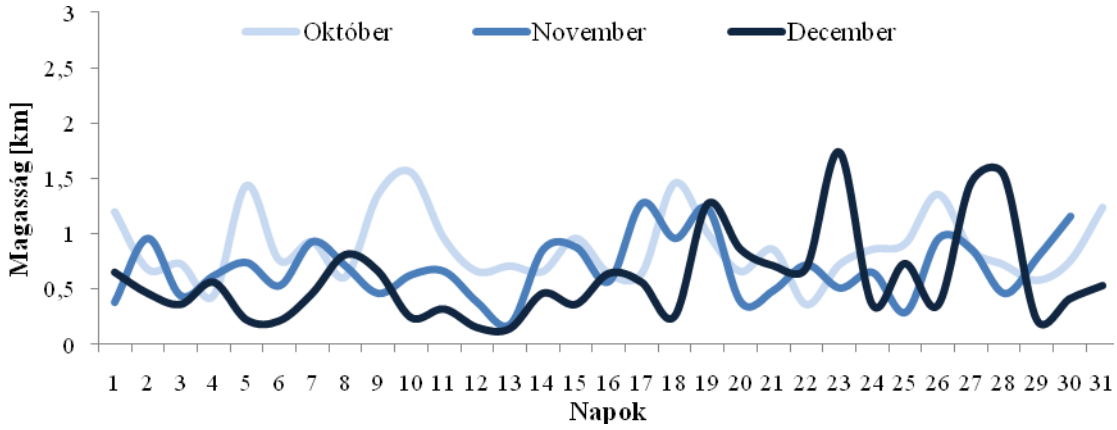
Ha a virtuális potenciális hőmérsékleti profil nem tette lehetővé a déli konvektív határréteg vastagság egyértelmű meghatározását, akkor a markánspontok (hőmérsékletben, szélsebességben, páratartalomban bekövetkező ugrásszerű változások) alapján becsültük a magasságot.

Az éjszakai értékek esetében a hőmérsékleti inverzió, illetve a felszín közeli szélmaximum alapján becsültük a határréteg vastagságot. A határréteg minimális vastagságát 100 m-nek tekintettük. A *7. ábra* a virtuális potenciális hőmérséklet változását szemlélteti egy téli napon délben és egy nyári éjszakán.

A *8. ábra* és a *9. ábra* mutatja a vizsgált időszakban (2008. második félév) a határréteg magasság értékeit a 12 UTC-s rádiószondás mérések alapján. (Az éjszakai határréteg vastagságokat itt külön nem elemezzük.) Jól látszanak a nyári magasabb és a téli alacsonyabb Phr értékek. A napok közötti változékonyság az időjárási helyzet (makrocirkulációs típus, frontátvonulások) hatását mutatja.



8. ábra. 2008. július, augusztus, szeptember hónapok Phr magasságai
a 12 UTC-s budapesti (12843) rádiószondás mérések alapján.



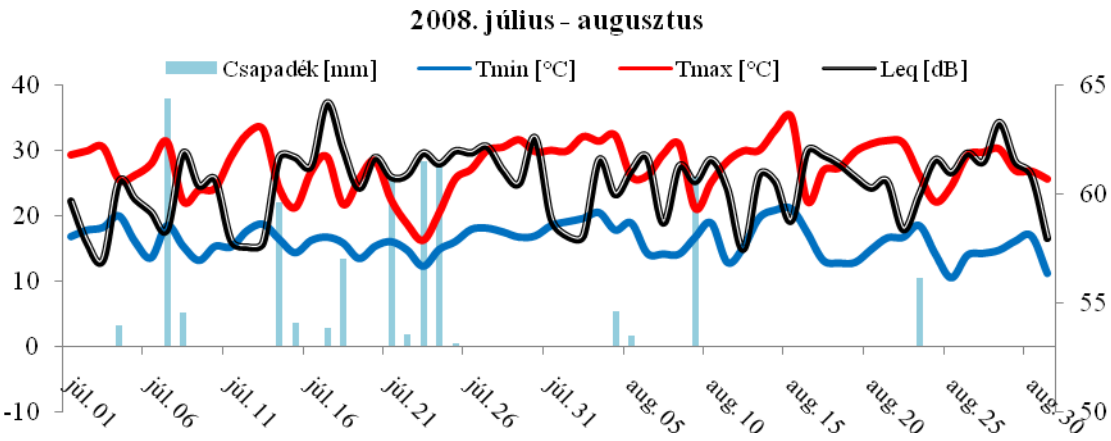
9. ábra. 2008. szeptember, október, december hónapok Phr magasságai
a 12 UTC-s budapesti (12843) rádiószondás mérések alapján.

Miért fontos a Phr ismerete a zajterjedés vizsgálatánál? A 2. zajmonitor állomás fölött a leszálló gépek a kötelező 3°-os ereszkedési szög miatt minden érkezésnél ~ 110 m magasan repülnek. A nyáron jellemző magas nappali határréteg, az erős turbulencia, nem jelenthet markáns hatást a zaj terhelésre, inkább mérsékli azt. A téli hónapokra meghatározott Phr magasságok közelebb esnek bizonyos napokon ehhez a repülési szinthez így ezekben a hónapokban felerősítik a már amúgy is jelentős alacsony hőmérsékletű (nagyobb sűrűségű) levegő zajterjedésre gyakorolt hatását. Télen a mechanikus turbulencia dominál. Megjegyezzük, hogy éjszaka a téli hónapokban gyakran találkozunk 100 m körüli Phr magasság értékekkel.

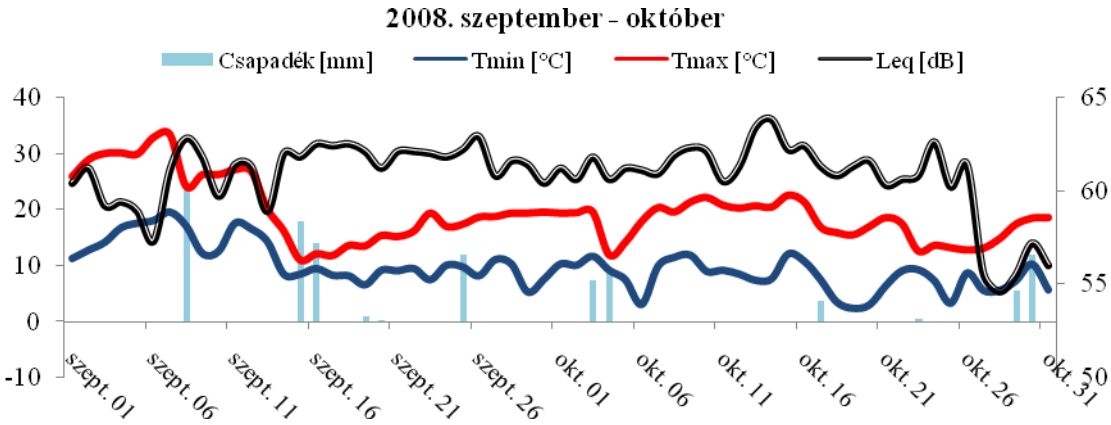
Az induló gépek magassági adataiban, a leszálló gépekkel összehasonlítva, nagyobb szórást tapasztalunk, mert csak egy minimális emelkedési szög van számukra meghatározva, s a repülőgép helyzete sok egyéb tényezőtől is függ: a felemelkedés helye, a gép teljesítménye, terheltsége, a levegő hőmérséklete, a szélprofil alakja, célállomás iránya stb. Általában 400–1100 m közötti magasságban vannak a gépek a Csévéző utcai 2-es számú zajmonitor állomás fölött (*5. ábra*). Délben szinte mindig a határrétegben repülnek, ami „tovább bonyolítja” az egyes járatok zajszintje és a planetáris határréteg szerkezete közötti kapcsolat meghatározását.

ZAJKLIMATOLÓGIAI VIZSGÁLATOK

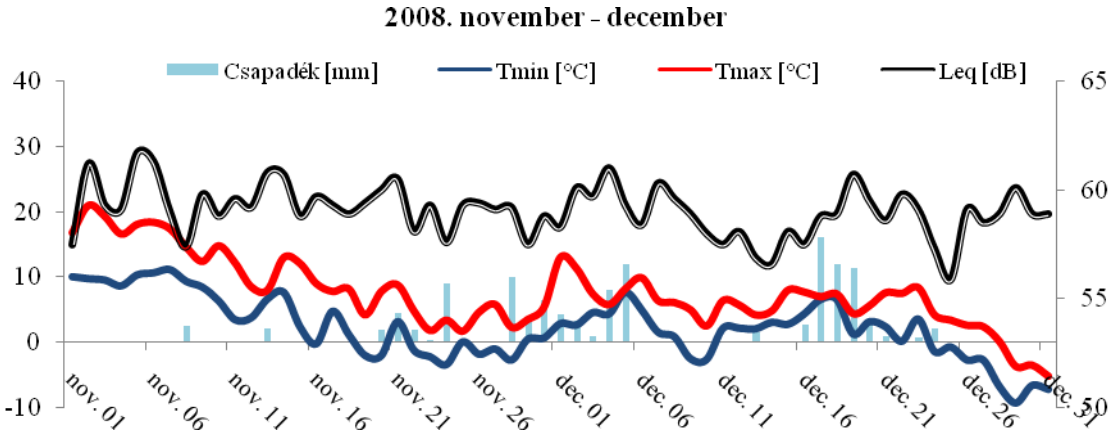
E részben a zajmérések és a meteorológiai állapotjelzők közötti kapcsolatokat elemezzük. Elsőként a 2. számú zajmonitor állomás által mért napi egyenértékű zajszint (L_{eq}) értékeket vizsgáljuk a napi maximum (T_{max}) és minimum (T_{min}) hőmérséklet, illetve a csapadék összefüggésében. A repülőtér környéki klimatológiai adatok Vecsésről származnak [12]. Eredményeinket a *10–12. ábrán* közöljük.



10. ábra. 2008. július-augusztus hónap zajklimatológiai ábrázolása.



11. ábra. 2008. szeptember-október hónap zajklimatológiai ábrázolása.

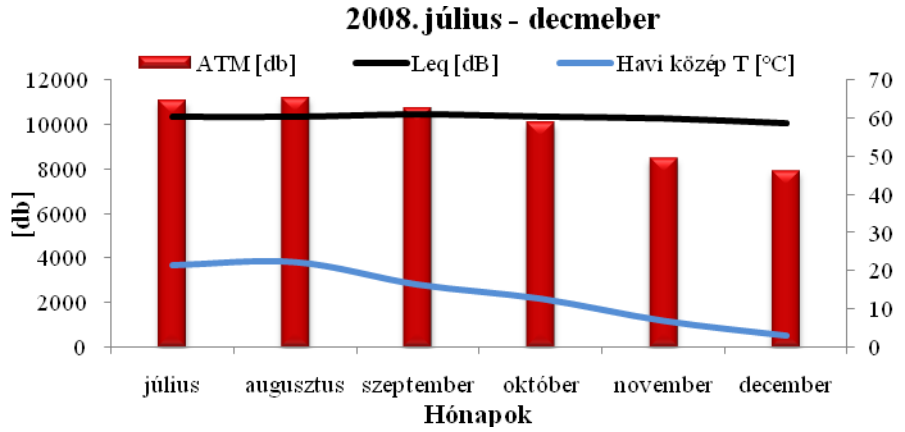


12. ábra. 2008. november-december hónap zajklimatológiai ábrázolása.

Közvetlen összefüggés nem fedezhető fel a hőmérséklet és csapadék adatokkal. Néhány szakaszon azonban követhető – a várakozásoknak megfelelően – a hőmérsékleti csúcsoknál kivehető zajszint csökkenés. A csapadéktevékenység és a zajszint között alig fedezhető fel kapcsolat. Pontosabb

összefüggésekhez – ha egyáltalán számszerűsíthetők – további közelítésekre lenne szükséges, pl. a műveletszámok feltűntetése, repülési irányokra való szűkítés, helyi észlelésű meteorológiai adatok.

Megvizsgáltuk a havi átlagértékeket is. A havi középhőmérséklet, a zajszint (L_{eq}) és a műveletszám (ATM) értékeit a *13. ábra* mutatja.

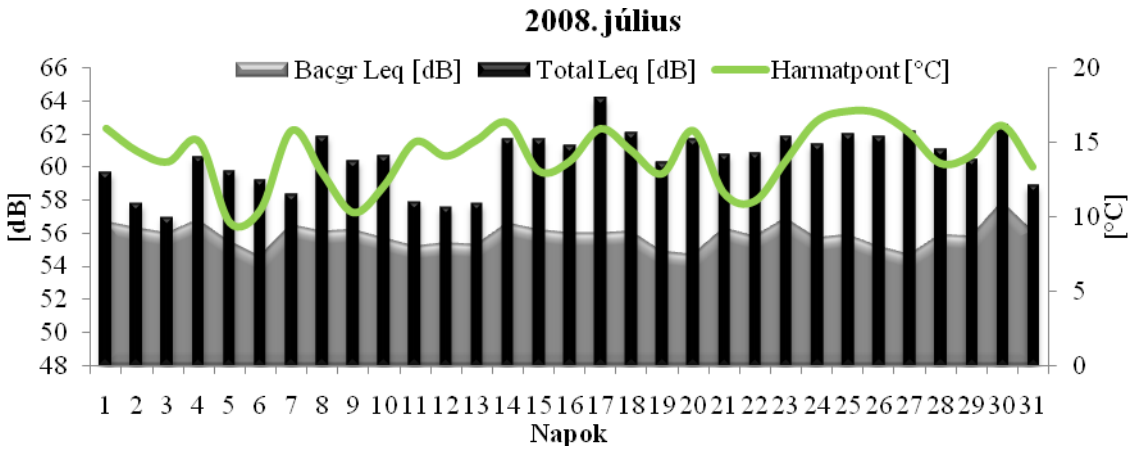


13. ábra. Havi átlagértékek (középhőmérséklet, zajszint, ATM) összehasonlítása 2008. július-december.

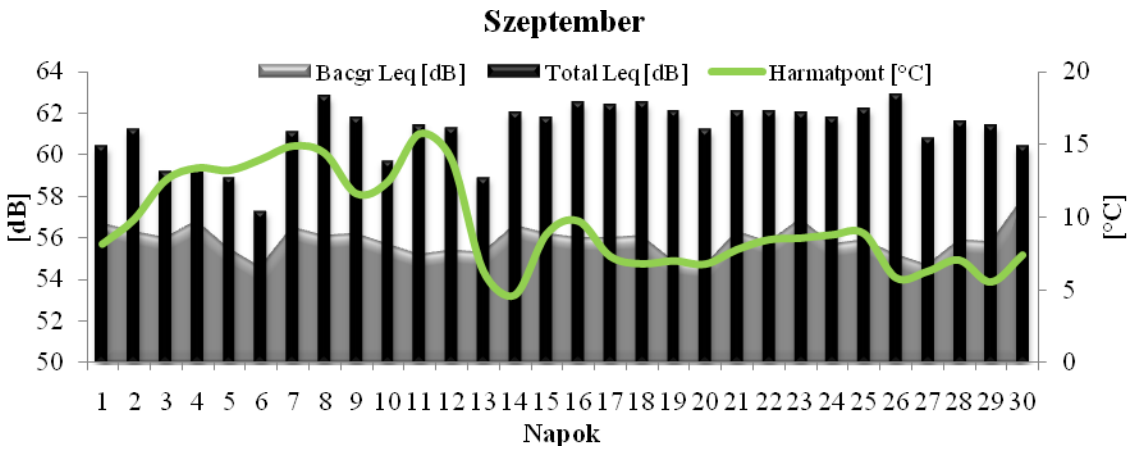
A hidegebb őszi és téli hónapokra magasabb zajszintet várunk a kedvezőbb terjedési feltételek miatt, ezt azonban nem tükrözik a havi átlagos L_{eq} értékek. A forgalomi adatokat vizsgálva megállapítható, hogy a műveletszámban jelentős különbség van a nyári és a késő őszi illetve téli hónapokban (kb. 30%) – elsősorban emiatt alacsonyabb az átlagos zajszint.

A következő kiragadott meteorológiai állapothatározó a harmatpont. A szakirodalmi adatok alapján itt gyenge kapcsolatot várhatunk. Ezt igazolja a *14.* és a *15. ábra*. A júliusi és a szeptemberi adatokat mutatjuk be. Itt volt hiánytalan mérési adatsor.

Megjegyezzük, hogy a meteorológiai elemek közül a szélirány bizonyult a legfontosabbnak.

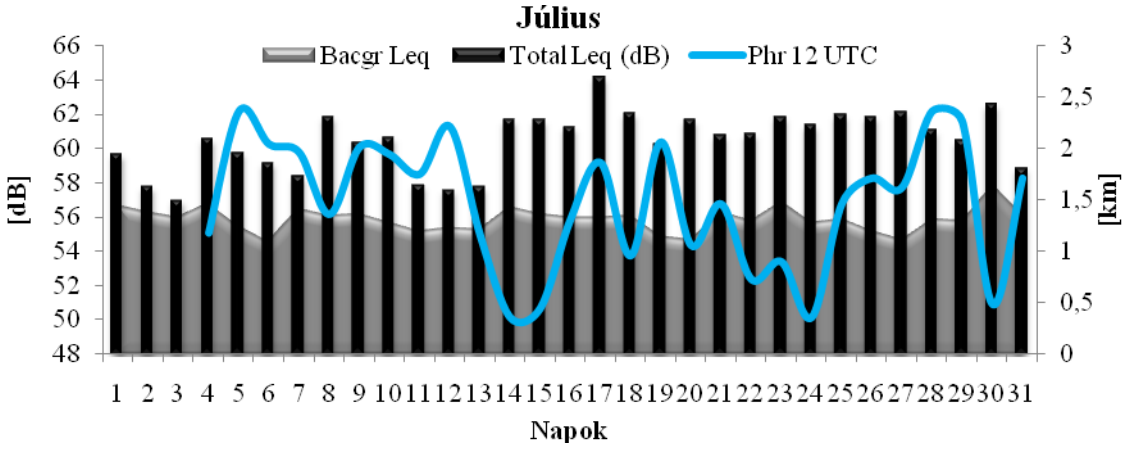


14. ábra. 2008. július hónap harmatpont és zajszint értékei.

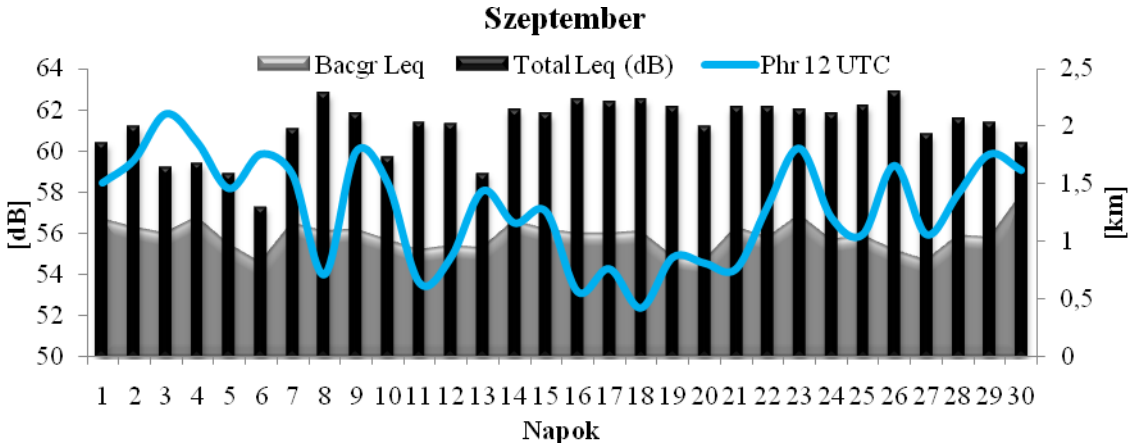


15. ábra. 2008. szeptember hónap harmatpont és zajszint értékei.

A következőkben a 12 UTC-s konvektív határréteg magasság (ami közvetett módon az adott nap Phr fejlődéséről is tájékoztat), illetve a zajesemények napi egyenértéke (Leq) és a háttér egyenérték zajszint (Bacgr Leq) közötti kapcsolatot vizsgáljuk. Itt szintén a júliusi és a szeptemberi adatokat mutatjuk be (16–17. ábra). Nagyobb Phr magassághoz (erősebb besugárzás, konvektív aktivitás illetve intenzívebb turbulens kicserélődés) általában kisebb zajszint tartozik. A 12 UTC-s Phr magasság és a zajszintek közötti korrelációs együttható 0,4 feletti volt. Kimutatható kapcsolat van a két változó között.

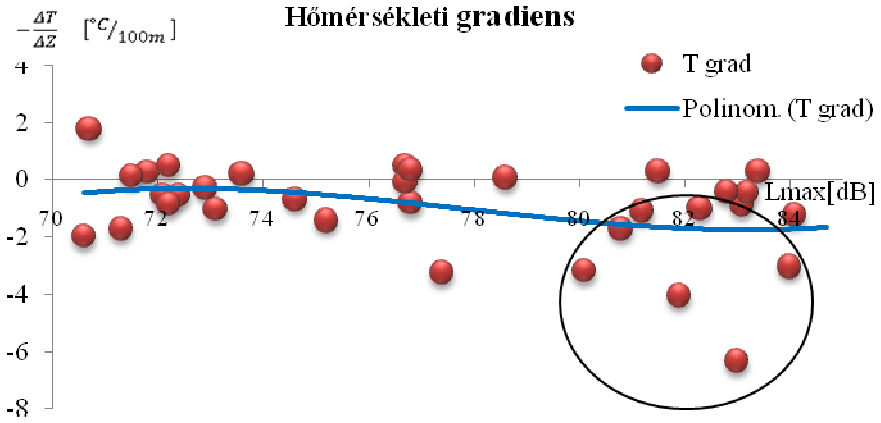


16. ábra. 2008. július hónap 12 UTC-s határréteg magasság és napi átlagos zajszint értékei.



17. ábra. 2008. szeptember hónap 12 UTC-s határréteg magasság és napi átlagos zajszint értékei.

Az elemzés folytatásaként nézzük az éjszakai zajterhelést! Milyen jellegű és erősségű kapcsolatra számíthatunk az éjszakai (22–02 UTC) órákban mért zajesemények, és a 00 UTC-s rádiószondás felszállások alapján számított Phr karakterisztikák között? Vizsgálati eredményeink közül az alsó 300 m-es réteg (illetve, ha alacsonyabb, akkor a Phr) hőmérsékleti gradiense és a zajesemények közötti kapcsolatot vizsgáljuk (*18. ábra*). Megjegyezzük, hogy erős inverzió (nagy negatív hőmérsékleti gradiens) esetén általában alacsonyabb a határréteg. Erősen stabilis rétegződés esetén (lásd a bekarikázott esetek) a maximális zajszint minden esetben 78 dB feletti. Gyengén stabilis, illetve pozitív hőmérsékleti gradiensek esetén gyakrabban találkozunk alacsonyabb maximális zajszinttel (< 74 dB).

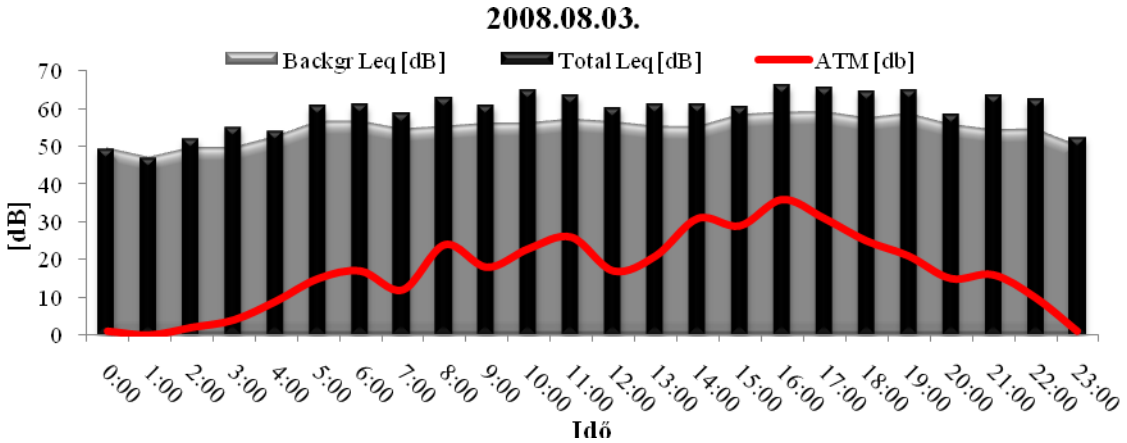


18. ábra. Az éjszakai órákban (22–02 UTC) bekövetkező zajesemények (nagyobb, mint 70 dB) és az alsó 300 m-es légréteg hőmérsékleti gradiense közötti kapcsolat. Erős inverziós helyzetekben (alacsony Phr esetén) nagyobb zajterhelést tapasztalunk.

A klimatológiai vizsgálatokat egy esettanulmánnyal zárjuk. A legforgalmasabb napon (2008. augusztus 3.) elemezzük a forgalom, a zaj (2. számú monitor adatai) és az időjárási paraméterek

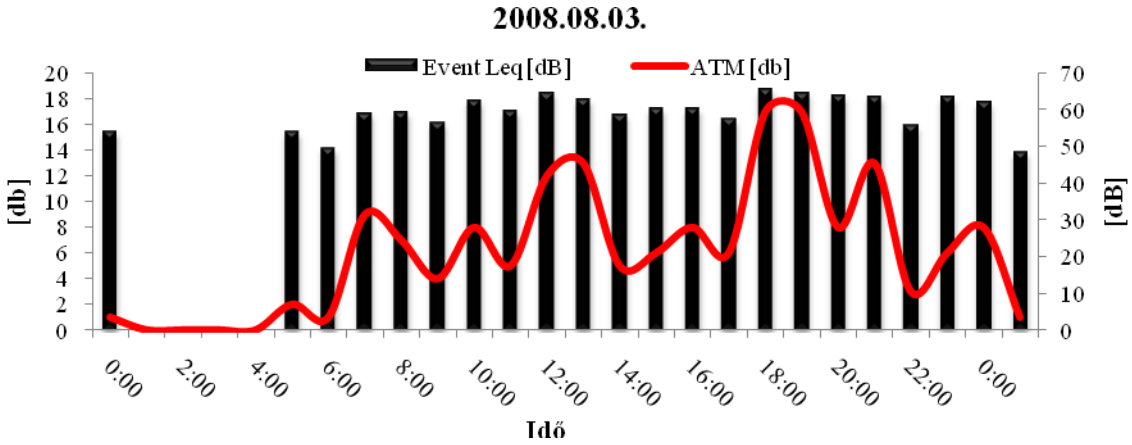
napi menetét (itt a hőmérsékletet és a harmatpontot ábrázoljuk, *19–21. ábra*). E napon 404 db gépmozgás (ATM) történt.

A 19. ábrán az órás egyenértékű zajszintek láthatóak a háttér értékekkel kiegészítve a műveletszám tükrében. A zajmérő forgalmas területen való elhelyezkedésének a következménye a magas háttérzaj (*Backgr* L_{eq}), amitől kissé elkülöníthető a repülésből származó zaj, tehát a terület a reptértől függetlenül is megfelel a fokozottan zajos területekre vonatkozó feltételeknek (284/2007. (X. 29.) Korm. rendelet 4. számú melléklet).



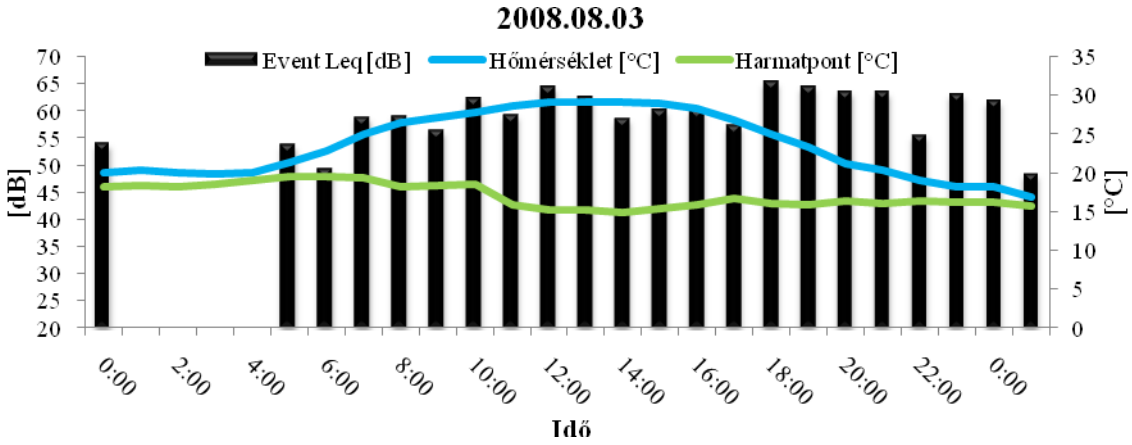
19. ábra. A forgalom intenzitás és a zajszint összefüggése 2008. legforgalmasabb napján.

A zajeseményekhez (*Total* L_{eq}) a tényleges forgalmi események is hozzárendelhetők. E munka eredményét szemlélteti a *20. ábra*. Nagyobb műveletszámhoz nagyobb zajértékek tartoznak.



20. ábra. A forgalom intenzitás és a zajesemény szintek összefüggése 2008. a legforgalmasabb napján.

A *21. ábrán* a pontosított zajesemény-szinteket ábrázoltuk az augusztus 3-ára jellemző órás hőmérséklet és harmatpont adatokkal együtt. A zajszint változása elsődlegesen a forgalmi adatokat követi, nem pedig a jól fejlett napi hőmérsékleti és harmatpont menetet. Megjegyezzük, hogy az esti órákban a szélirány változása (itt nem szemléltetjük külön ábrán) szintén közrejátszott a zajesemények erősségében.



21. ábra. Órás zajesemény egyenérték, hőmérséklet és harmatpont értékek 2008. legforgalmasabb napján.

A NAPPALI ÉS ÉJSZAKAI ZAJESEMÉNYEK JELLEMZÉSE MAJD MODELLEZÉSE

A meteorológiai és a zajesemények statisztikai vizsgálata után a zajterjedés modellezésével foglalkozunk. A Németországban elterjedten alkalmazott IMMI zajtérképező programot adaptáltuk. Hasonló modellt alkalmaznak a bukaresti repülőtéren is [15]. Célunk hogy a le- és felszálló repülőgépek keltette zaj integrált hatását elemezzük, és összehasonlítsuk a számítási eredményeket a zajmérők adataival. Először készült ilyen jellegű vizsgálat hazánkban. A németországi programfejlesztőkkel konzultálva kiterjesztettük az IMMI v6.3.1 zajterjedési program alkalmazási körét és beillesztettük a hazai zajterjedési szabvány-környezetbe. (E fejlesztő munkát *Muntag András* végezte.)

Ismerkedjünk meg a zajterjedési modell futtatásához szükséges adatbázissal. Ez tartalmazza (I.) a repülési adatokat (járatszám, repülési útvonal, leszállópálya, stb.), (II.) a zajmérések eredményeit (mi a lakott területen levő 2. zajmérő állomás adataival hasonlítottuk össze a modellszámításokat), továbbá (III.) a ferihegyi meteorológiai mérőkert és a pestszentlőrinci (12843) rádiószondás merések eredményeit (00 UTC és 12 UTC). Az összehasonlíthatóság érdekében 10–14 UTC és 22–02 UTC közötti időszak zajeseményeit elemezzük. Az egységes adatfeldolgozás érdekében az Airbus A320 repülőgépek zajhatását vizsgáltuk.

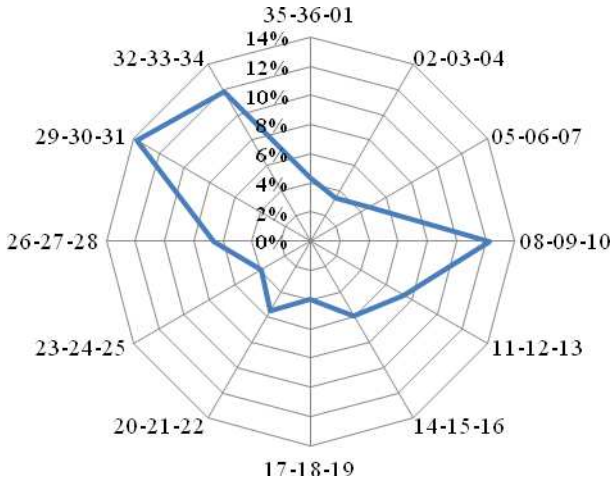
Az elemzést a forgalmi adatok kiválogatásával kezdtük (*1. táblázat*). A 2008. július-decemberi adatokból először kiszűrtük az észak-nyugat felé közlekedő járatokat. A vizsgált időszakban összesen 59 510 gépmozgás történt. A szélirány bemutatásához a rendelkezésre álló legpontosabb adatokat vettük figyelembe. Beazonosítottuk a zajmonitor rendszerben az előre kiválasztott pályairányú, azonos géptípusú forgalmi események zaját, majd a repülőtéren elhelyezett meteorológiai műszerkert (20 m-es mérőtorony) 2 perces felbontású adataiból a járatok indulási idejét alapul véve az azt

megelőző 5, és azt követő 15 perces időintervallumban kiátlagoltuk a szükséges meteorológiai paramétereket. Megjegyezzük, hogy a szélirányt nem lehet direkt módon átlagolni (körkörös valószínűségi változó). Itt az időszak közepén mért szélirányt választottuk.

	Érkezés		Összes érkezés	Indulás		Összes indulás
	0 óra	**12 óra**		**0 óra**	**12 óra**	
Július	4	11	15	4	26	30
Augusztus	4	13	17	3	26	29
Szeptember	3	13	16	1	23	24
Október	6	7	13	1	25	26
November	12	18	30	0	21	21
December	12	15	27	2	24	26
Összesen:	**41**	**77**	**118**	**11**	**145**	**156**

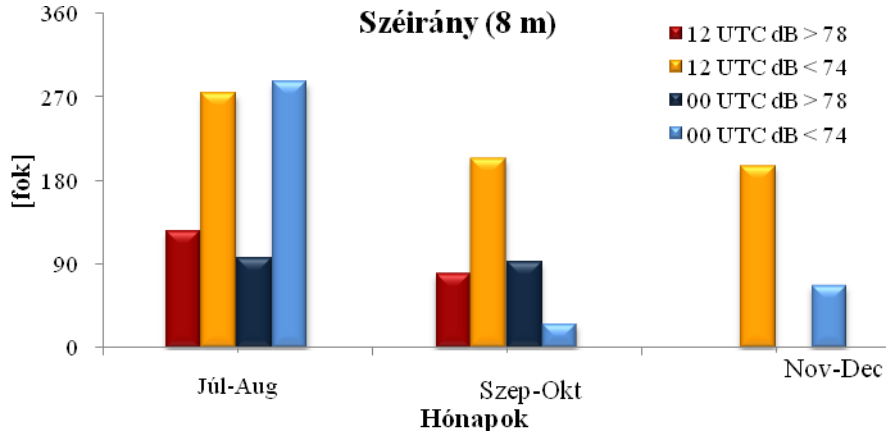
1. táblázat. A modellezéshez kiválogatott műveletszámok 2008 második félévében.

A ferihegyi repülőtéren az északnyugati (ÉNy) és a keleties (K) szélirányok a legjellemzőbbek. Ezt mutatja a 2001–2005 közötti mérések alapján készített szélrózsa (*22. ábra*). Az átlagos szélsebesség 2,5 – 3 m/s.



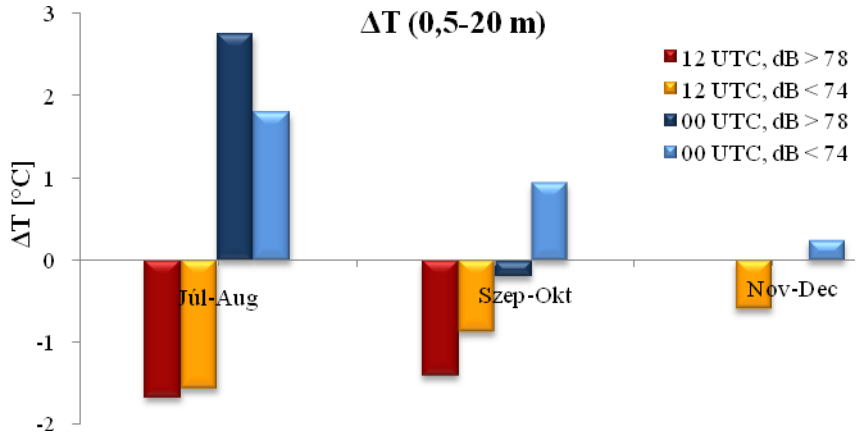
22. ábra Átlagos szélirány eloszlás Ferihegyen 2001–2005 közti adatok alapján [4].

A modellezni kívánt zajesemények megismeréséhez elsőként bemutatjuk, hogy hogyan alakulnak a kiválasztott járatokhoz (Airbus A320) társított zajesemények ekvivalens zajszintjei a szélirány, a hőmérsékleti gradiens és a felszín közeli réteg stabilitásának (*Ri* – Richardson-szám, a termikus és a mechanikus turbulencia viszonyszáma) függvényében. A 2. számú zajmonitor által mért zajesemény-szintek értékeit szétválasztottuk erősebb (>78 dB) és gyengébb (<74 dB) zajeseményekre. Elsőként a szélirány függvényében vizsgáljuk a zajesemények erősségét kéthavi bontásban. Az erős és a gyenge zajesemények medián értékeit ábrázoljuk (*23. ábra*).



23. ábra. Nappali (10–14 UTC) és az éjszakai (22–02 UTC) erős és gyenge zajesemények szélirány szerinti megoszlása kéthavi bontásban (2008. július-december).

A 78 dB-nél nagyobb zajjal járó repülések regisztrálásakor a szélirány döntően 80–125° szektorból fújt, ami közelítőleg megegyezik a pályák tájolásával, tehát a repülési iránnyal, így a zajmonitor felé fújja a szél a hangot, ami közelben élő lakosok számára kedvezőtlen. A 74 dB-nél kisebb eredmények 290–200 és kisebb részben 70-25°-os szélirányoknál fordultak elő. Ezek mindegyike oldalszelet jelent a repülési irányra nézve: emiatt nem jut el a zajmérőbe a zaj maximális értéke. A nyári intenzívebb forgalomnak köszönhetően a július-augusztusi hónapra bőven jutott adat, viszont a téli hónapokban nem sikerült 78 dB feletti zajesemény adatokat feltűntetni.



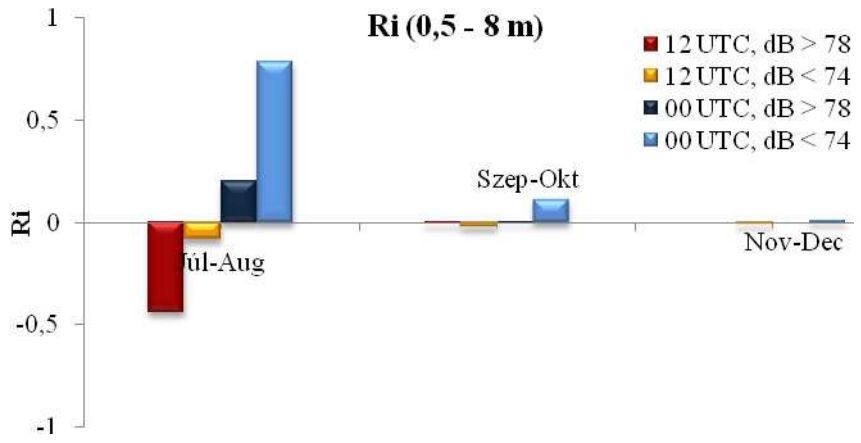
24. ábra. Nappali és az éjszakai erős és gyenge zajesemények megoszlása az alsó légréteg hőmérséklet különbsége (ΔT = T(20 m) – T(0.5 m)) alapján kéthavi bontásban (2008. július-december).

A meteorológiai műszerkertben elhelyezett 20 m magas mérőoszlop lehetővé tette, hogy kiszámoljuk a hőmérséklet különbséget (*24. ábra*) a felszínen és 20 m-es magasságban. A nappali negatív értékek azt jelentik, hogy erősen labilis a felszín közeli réteg. A hőmérsékleti gradiens meghaladja a száraz adiabatikusat $\left(\gamma = -\frac{\Delta T}{\Delta z} > 1\,^{o}C/100\,m\right)$. Érdekes, hogy nyáron a labilitás növekedésével (nagyobb negatív hőmérsékletkülönbség a 20 m-es és a 0.5 m-es szint között), nő a

zajesemények erőssége. Egy lehetséges magyarázat lehet a zajforrás közelsége (kívül vagyunk az árnyékzónán [7]). Éjszaka az erős inverziós helyzetek jellemzik a zajeseményeket, ami kedvez a zajterjedésnek. Erősebb inverziókhoz tartoznak az erősebb (>78 dB) zajesemények. A felszín közeli réteg stabilitásának a mérőszáma a Richardson-szám. Nappal negatív, éjszaka pozitív.

$$Ri = \beta \frac{\left(\frac{\Delta T_v}{\Delta z}\right)}{\left(\frac{\Delta u}{\Delta z}\right)^2} \tag{3}$$

ahol ΔT_v, Δu, Δz rendre a vizsgált légréteg virtuális hőmérséklet, szélsebesség és magasság-különbsége. β a stabilitási paraméter, ami a nehézségi gyorsulás és a virtuális hőmérséklet [K] hányadosa $\beta = \frac{g}{T_v}$. Vizsgálatainkban a 0.5–8 m-es réteg adatait használtuk. Eredményeinket a *25. ábrán* mutatjuk. A nagy negatív értékek főleg nyáron a nappali órákat jellemzik. A nagyobb zajesemények nagyobb negatív értékű Richardson-számokhoz (erősebb labilitás) kapcsolódnak. Érdekes, hogy nyáron éjszaka az erősebb zajesemények a kisebb (indifferenshez közeli) egyensúlyi helyzetekben fordulnak elő. Télen a zajeseményekhez tartozó Richardson-számok medián értékei nulla körüliek (indifferenshez közeli rétegződés). Az egyik magyarázó ok a szélnyírás $\left(\frac{\Delta u}{\Delta z}\right)$ lehet.



25. ábra. Nappali és az éjszakai erős és gyenge zajesemények megoszlása a felszín közeli réteg stabilitási viszonyait jellemző Richardson-szám (*Ri*) alapján kéthavi bontásban (2008. július-december). A nullához közeli *Ri* értékek nem látszódnak a diagramon (Szept-Okt, Nov-Dec).

IMMI v6.3.1 zajtérképező program

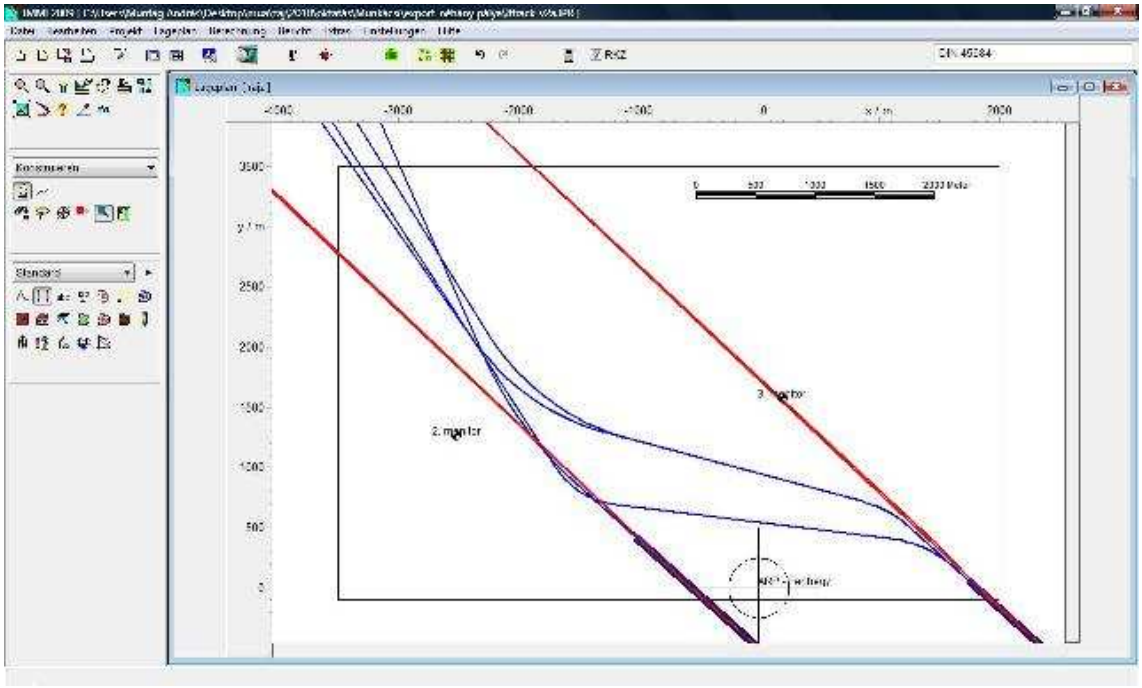
A német Wölfel Messsysteme und Software GmbH által kifejlesztett IMMI fantázianevű zajtérképező szoftverével végeztünk szimulációt. Az IMMI a hatályos előírásoknak megfelelően azt mindenben betartva számol a bevitt alapadatok alapján, és rendelkezik a magyar előírások szerinti számítási modulokkal. A program képes megadni a betáplált járat pályája körüli zaj immissziót és azt

szintvonalakkal ábrázolja. Emellett lekérhetünk adott pontban észlelhető zajszintet is. Ez azért fontos, mert pontosan megadhatjuk a referencia zajmonitor állomások helyzetét, és egzakt összehasonlítást végezhetünk. A program a zajszint megadásánál a hang terjedésének kedvező meteorológiai helyzettel dolgozik, ami 2–3 m/s szélsebességet jelent, melynek iránya minden esetben a forrástól az észlelő felé mutat [3]. A közeli jövő fejlesztési iránya a meteorológiai paraméterek módosítása (külső megadása) a programban.

Airbus A320 repüléseihez kapcsolódó zajesemények modellezése

A már említett homogén géptípus választása a német AzB számítási eljárást alkalmazása miatt szükséges [3]. Az AzB módszer a típusokat zajszerinti kategóriákba sorolja, mely megjelenik a 18/1997. (X.11) KHVM-KTM együttes rendeletben is. A felhasznált Airbus A320 típusú repülőgép az S 5.2 kategóriába tartozik.

A zajmonitor rendszer által rögzített, a szükséges járatok útvonalát leíró pályagörbék megadása alapján számol a program. A modell tesztelése során 8 db példajáratot (2. táblázat) ábrázoltunk, melyeket úgy választottunk ki, hogy tartalmazzanak éjjeli, nappali és mindkét pályára érkező, illetve induló járatokat is. Az útvonalak ábrázolását a 26. ábra szemlélteti az IMMI program felületén.



26. ábra. Az IMMI v6.3.1 zajtérképező program által modellezett útvonalak. (Kék színűek a felszállások, pirosak a leszállások. Az ábra alján lévő két vastagabb párhuzamos vonal a futópályákat jelöli.)

A modellezett L_{max} értéket a járattípushoz tartozó L_W hangteljesítményből kiindulva az L_S gömbi szétterjedés (spherical spreading), a közeg hangelnyelő tulajdonságainak figyelembe vételével

határozhatjuk meg. Ez az érték – mint arról korábban már esett szó – a hangterjedésnek kedvező meteorológiai állapotot feltételez.

A monitorállomás mért zajszintjének rögzítésekor azonban az időjárási helyzet ettől eltérő is lehetett. Ezért ha a számított és a mért értékek ΔL_{max} különbségét képezzük, akkor ez tartalmazza azokat a változásokat, amelyeket a különböző meteorológiai paraméterek okoznak, ugyanakkor kivontuk a megfigyelésből azokat a tényezőket, amelyek mind a mért, mind a számított értékben egyformán szerepelnek (pl. a távolságtól függő tényezők).

A ΔL_{max} és a keletkezésével egyidejűleg fennálló meteorológiai paraméterek összevetésével választ kaphatunk arra, milyen módon befolyásolják ezek a változók a zajterhelés alakulását.

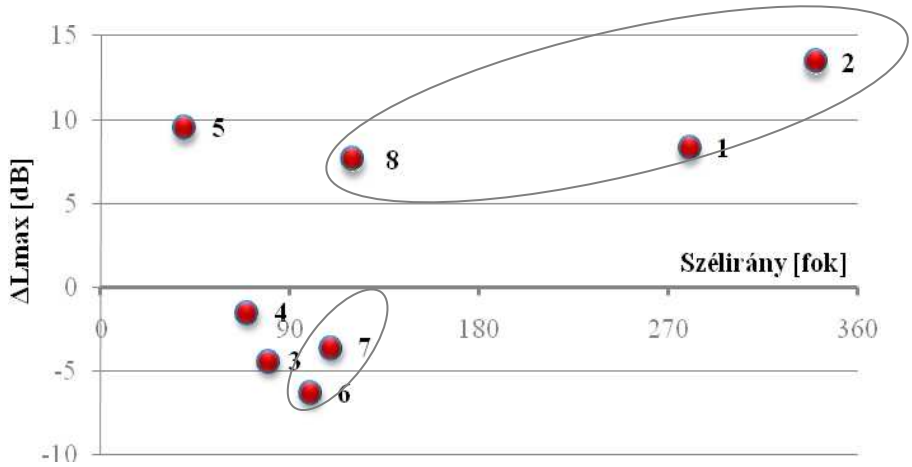
Jelen előadásban nyolc kiválasztott járatra vizsgáltunk összefüggéseket. A feldolgozás folyamatos, így az itt közölteken túl további eredmények várhatók. A 156 esemény teljes kiértékelésétől azt is várjuk, hogy ebből a 8 esetből sejtett összefüggéseket megerősíti.

A vizsgált járatok az alábbiak voltak:

	Dátum	Járatszám	Futópálya	A/D	*Mért* L_{max}	*Modell* L_{max}	ΔL_{max}
1	2008.07.09	WZZ8002	31R	DEP	72	80,3	8,30
2	2008.07.27	WZZ8003	31L	DEP	72,1	85,5	13,40
3	2008.08.14	DLH9CT	31L	DEP	78,7	74,3	-4,40
4	2008.09.02	AZA477	31R	DEP	76,3	74,8	-1,50
5	2008.10.22	WZZ278Q	13R	ARR	70,6	80,1	9,50
6	2008.10.29	CLI3522	13L	ARR	85,7	79,4	-6,30
7	2008.11.10	WZZ248N	13L	ARR	83	79,4	-3,60
8	2008.12.01	CLI3522	13R	ARR	72,7	80,3	7,60

2. táblázat. A 8 modellezett járat adatai.

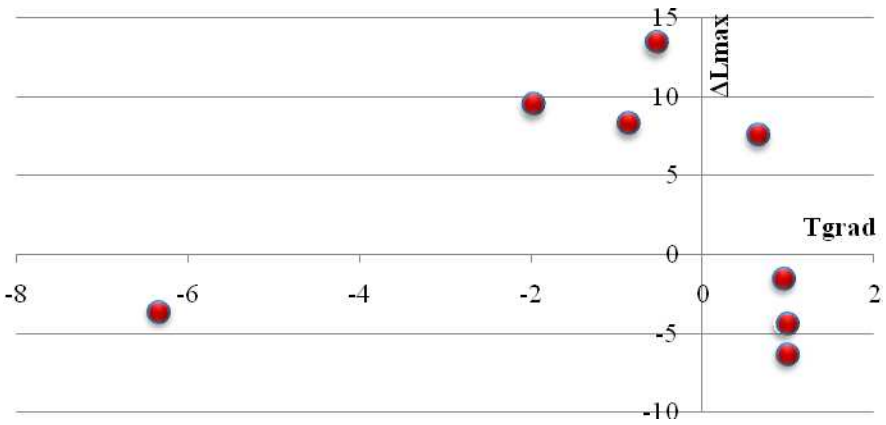
Az ábrázolást követően a ΔL_{max} értéket összehasonlítottuk a repülések idején jellemző meteorológiai paraméterekkel. Elsőként a szélirány hatását mutatjuk be (*27. ábra*).



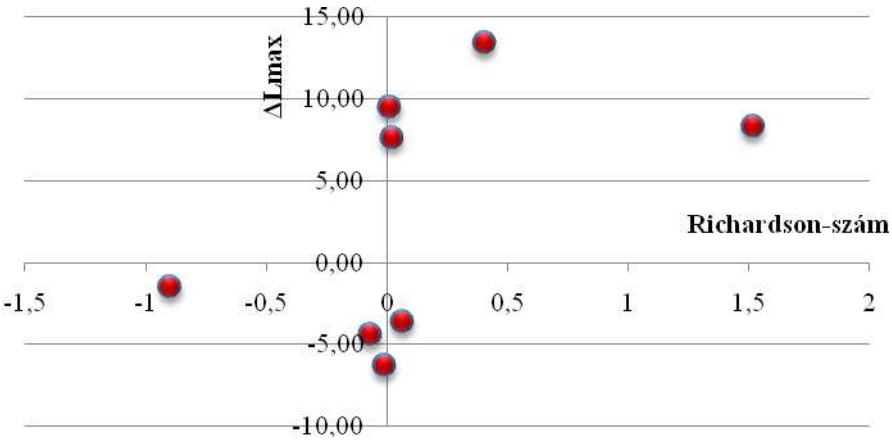
27. ábra. A ΔL_{max} és a szélirány összehasonlítása.

Előzetes eredményeink azt mutatják, hogy a 8 adatból 6-nál képesek vagyunk a modellezett és mért a L_{max} különbséget megmagyarázni. Az 1, 2, 8 pozitív értékei esetén oldalszél volt jellemző. A 3-as járat esetén a negatív ΔL_{max} értékeknél a repüléskor határozott mikrofon felé fújó szélirányt tapasztaltunk. A 6, 7 esetben a gépek pontosan a zajmérő felett repültek, itt a széliránynál lényegesebb befolyásoló hatást várunk a szélsebességtől és a zajforrás közelségétől. A 4. és 5. adat ellenszélben van, de az értékek azt mutatják, mintha a mikrofon felé fújna a szél, ezért helyzetük magyarázatához további ismeretekre is szükségünk lenne. *23.* és *27. ábrán* bemutatott vizsgálatok szerint a szélirány hatása jelentősen kimutatható. A Ferihegyen jellemző az átlagos szélirányt a *22. ábra* szemlélteti. A pályák ÉNy-i meghosszabbításában élők számára kedvező az uralkodó szélirány, mert nagyobb részben fúj felőlük, mint feléjük a szél.

A hőmérséklet különbségének (ΔT = T(20 m) – T(0.5 m)) vizsgálatánál azt tapasztaljuk, hogy erős inverziós helyzetekben (nagy negatív értékek) ΔL_{max} értékei nulla közeliek. Kis hőmérséklet különbségek ($|\Delta T| < 1\ ^oC$) esetén nagy a ΔL_{max} szórása.



28. ábra. A ΔL_{max} és az alsó légréteg hőmérséklet különbségének (ΔT = T(20 m) – T(0.5 m)) az összehasonlítása



29. ábra. A ΔL_{max} és a 0,5–8 m-es rétegre vonatkozó Richardson-szám (*Ri*) összehasonlítása.

A Richardson-számokat vizsgálva (*29. ábra*) indifferenshez közeli esetekben nagy a szórás. Erősen stabilis, illetve labilis rétegződésre csak 1-1 eset jellemző, itt nem vonhatunk le következtetéseket.

A közeli jövő feladata az összes 12 UTC és 00 UTC közeli Airbus A320 repülési tevékenység (156) modellezése. Itt már külön kezeljük majd a déli (10–14 UTC) és az éjszakai (10–02 UTC) eseteket, a kis és nagy zajjal illetve a zajesemény nélküli repüléseket.

ÖSSZEFOGLALÁS

A zajeseményekért, és a zajterhelésért alapvetően a repülések gyakorisága, a műveletszám felelős. Meteorológiai állapotjelzők közül egyedül a szélránnyal sikerült szoros kapcsolatot találni. A határréteg vastagság, a hőmérsékleti rétegződés szintén magyarázó paraméter lehet a zajesemények feldolgozásában. A szakirodalmi adatoknak megfelelőn a csapadék és a nedvesség másodlagos fontosságú. Mindenképpen érdemes hosszabb adatsorok alkalmazásával, illetve a többi zajmérő állomás bevonásával további részletes vizsgálatokat elvégezni.

A ferihegyi repülőtér egy pontjára (2. számú monitor állomás) koncentráló zajmodellezési vizsgálatok is számos különböző hatást viselnek, melyeket megfelelő finomítással és párosítással célszerű további vizsgálatokban felhasználni.

Az általunk elkülönített hatások a következők:

- távolság: ismert a zaj távolsággal való változása, így a repülések ugyanabban a pontban való vizsgálata (ez az indulások esetében különösen komplikált) lehetőséget adhat a levegő állapothatározóinak a figyelembe vételére a zajterjedésben (a csillapítás parametrizálása),
- hétköznapi tapasztalatok szerinti vizsgálatok: alacsony hőmérséklet, szélirány, szélsebesség, inverziós helyzetek, erős konvekció, illetve turbulencia hatási,
- fel és leszállások elkülönítése,
- járatsűrűség figyelembe vétele,
- géptípusok elkülönítése,
- évszakok, napszakok elkülönítése.

A szélirány hatásának pontosabb vizsgálata érdekében a mobil zajmérő állomás kihelyezése pontosabb megállapításokat tenne lehetővé az oldalirányú szél lakott területre vonatkozó hatásával kapcsolatosan.

A zajterhelést és a zavaró hatást a hangnyomásszint és a frekvencia jelleg együttesen határozza meg, ezzel együtt a mért hangnyomásszintekre jellemző frekvenciasávokban a környezet hangelnyelő hatása is eltérő. A későbbiekben célszerű lenne a frekvenciaértékekkel is foglalkozni a csillapodás megállapításához.

Gyakorlati jelentőséggel bír annak a megállapítása, hogy milyen mértékűek ezek a hatótényezők a ferihegyi repülőtéren. A lakosok és a repülőtér üzemeltetője közötti kommunikációban, a zajvédelmi munka során érdemes tudatában lenni annak, hogy az esetlegesen kirívó zajterhelés az időjárással is

összefügghet. Nem találtunk egyszerű döntési algoritmust a nagyobb zajjal járó időjárási helyzetek elkülönítésére. Következő lépésben a zajos és a nem zajos repülési események együttes vizsgálatát tervezzük. Jelen cikkben a zajesemények feldolgozására vállalkoztunk. Javasoljuk a kiadott közleményekben, tájékoztatásokban az időjárási hatások megemlítését, a későbbiekben ilyen irányú meteorológiai előrejelzések végzését, mely segíti a zavarásra való felkészülést.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetet mondanak a Budapest Airportnak, s *Galyas Richárd*nak, hogy rendelkezésünkre bocsátotta a vizsgálatokhoz szükséges zaj, panasz és repülési adatokat. Köszönjük *Kardos Péter*nek (HungaroControl), hogy lehetővé tette a repülőtéri meteorológiai mérőkert adatainak a felhasználását, és *Takács Péter*nek (ELTE meteorológus hallgató) az adatfeldolgozásban való részvételét. *Wantuch Ferenc* (NKH LI) szakmai tanácsaival segítette munkánkat.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] CSERMELY Ildikó és WANTUCH Ferenc, 2009: *Az időjárás hatása a zajterjedésére a ferihegyi nemzetközi repülőtér környezetében.* Repüléstudományi konferencia.
[2] John-Paul CLARKE, J. Huber N. SIZOV and S. MALONEY, 2004: *Weather Specific Noise Abatement Procedures: A Case Study of Departure Procedures for Runway 4R at Boston Logan Airport*. Air Traffic Control Quarterly 12, No. 2, 165–192.
[3] IMMI 5.2 Reference Manual First Edition, 2003.
[4] Budapest Airport Zrt.
[5] Vienna International Airport (personal communication).
[6] KOZMÁNÉ PETRILLA GRÉTA, 2005: *A Nagykállói kistérség környezeti állapotának elemzése*. Agrártudományi közlemények 16. Különszám, 364 oldal.
[7] CZELNAI Rudolf, 1995: *Bevezetés a meteorológiába I.* Budapest, ELTE Eötvös Kiadó.
[8] Robert D. BEHR and Eugene M. REINDEL, 2008: *Helicopter Noise Analysis for University of California San Francisco Mission Bay Hospital Site*. HMMH Report No. 302300.
[9] BRÜEL, & KJAER, 2000: *Sound & Vibration Measurement,* 7–8.
[10] KURUTZ, Imre és SZENTMÁRTONY, Tibor, 2001: *A műszaki akusztika alapjai.* Budapest, Műegyetemi Kiadó.
[11] CZELNAI, Rudolf, 2006: *Szélparkok és légköri akusztika* (Vélemény, vita). Magyar Tudomány. 4. szám, 492.
[12] METNET.HU. *Megfigyelések: Vecsés.* [Online] http://www.metnet.hu/?m=climate&mode=2&pid=297&date=2008-12.
[13] HÁY György, 2006: *Amit a repülésről tudni kell*. Typotex Kiadó.
[14] G.C. HOLZWORTH, 1964: *Estimates of mean maximum mixing depths in the contiguous United States*. Monthly Weather Rewiew 92, 235–242.
[15] Adina C. IONESCU and Horia DUMITRESCU, 2009: *Aircraft Noise Modeling and Noise Perception through CDA Procedure, the Impact on Communities.* 30th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

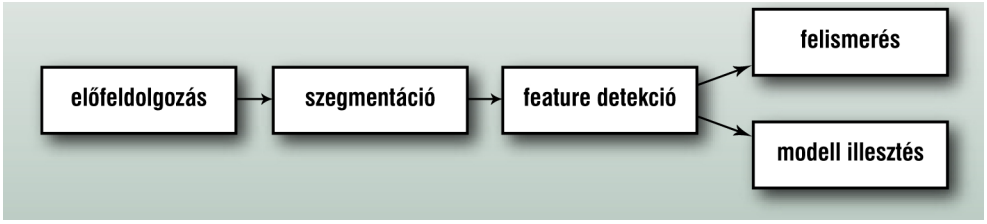
Nagy István

ÁLCÁZOTT HADITECHNIKAI ESZKÖZÖK FELDERÍTÉSI LEHETŐSÉGEI A KÖZELI INFRA-, ILLETVE A LÁTHATÓ FÉNY TARTOMÁNYÁBAN KÉSZÜLT DIGITÁLIS LÉGI FÉNYKÉPEKEN.

Kivonat A legfontosabb áttörés a képfeldolgozás terén az autonóm, gépi képértelmező rendszerek megjelenése (image understanding system IUS) volt. Egy IUS rendszer megvalósítása akkora feladat, mint ha megpróbálnánk a valóságot leképezni. A kezdeti autonóm képanalizáló rendszerek az él detektáláson és mintázat szegmentáláson alapultak. Napjainkban kihasználva az érzékelők adta lehetőségeket (versenyképes ár és szélesebb érzékelési tartomány, jobb felbontó képesség), olyan félautomata rendszereket lehet építeni, amelyekben egy robosztus és gyors élőfeldolgozáson keresztül biztosít információt a döntéshozók számára. A tanulmány robosztus előfeldolgozó algoritmus ismertetését tűzte ki célul, a szín alapú képszegmentálásra fókuszálva.

BEVEZETÉS

Az információs technológia fejlődésében a XX. század végét az érzékelők forradalmaként tartják számon, amely az összes elképzelhető mesterséges érzékelő- és beavatkozó eszköz tömeges és olcsó előállítását takarja. A látható fény (0,38-0,76µm) és közeli-infra (0,76-1,5 µm) tartományban használt érzékelő eszközök számítástechnikai alkalmazással kombinálva, hatékony elemző-értékelő rendszer alakítható ki, kiváló terepet biztosítva a gépi látás tudományos eredményeinek a megvalósítására. Épületek, harci és polgári járművek, katonák és egyéb objektumok felismerése több területen is alapvető fontosságú: légi és műholdas felvételek „offline” elemzésénél, és a vadászrepülők pilótáinak harc közben történő segítésénél egyaránt. A repülőterek és rakétasilók detektálására optimalizált algoritmus természetesen teljesen más módon működik, más követelményeknek felel meg, mint a repülőgépek fedélzetén használt „automatikus célpont azonosítók”.



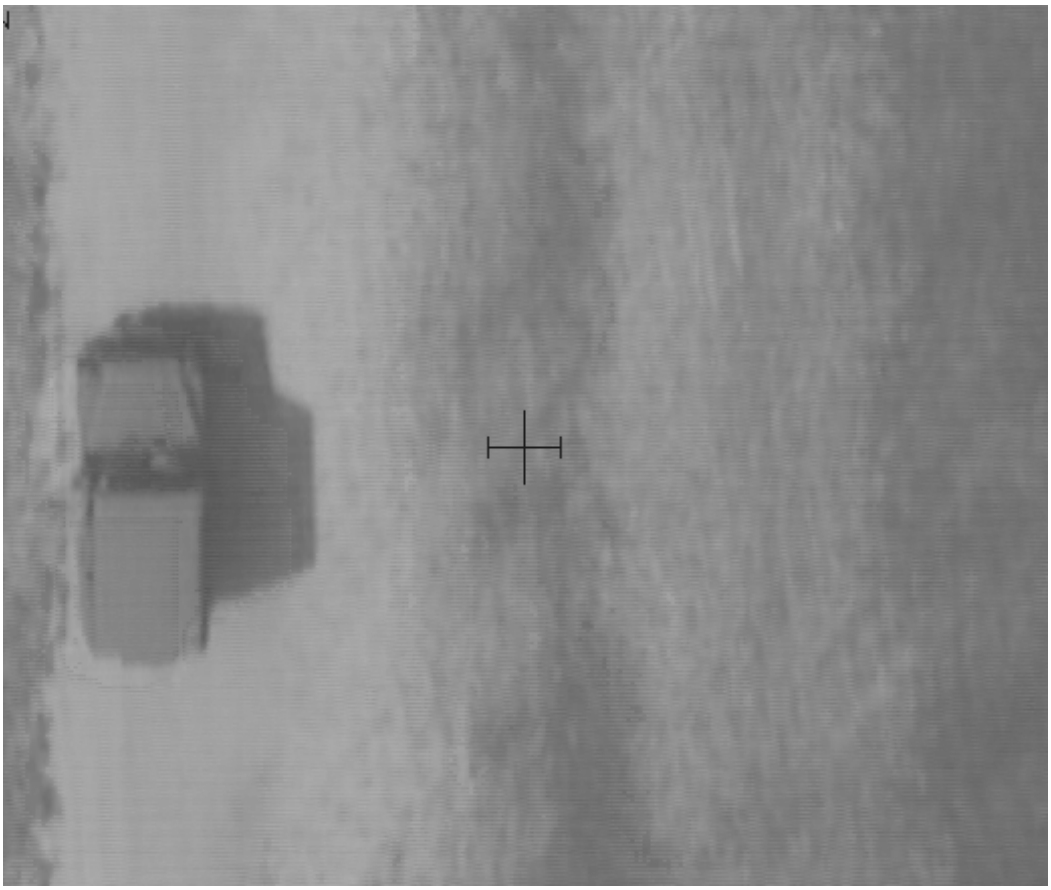
1. ábra. A számítógépes képanalízis alaplépései

A következőkben, általánosságban áttekintem, hogyan működi egy a számítógépes képfeldolgozó algoritmusok. Bár elsőre nem szembetűnő, de e problémák megoldása hasonló lépésekkel történik. Szinte mindig célszerű a képeket egyszerű transzformációkkal, szűrőkkel előfeldolgozni. Az így kapott kép valószínűleg tartalmaz fontos és lényegtelen területeket is. Ezeket a szegmentáció során választjuk szét egymástól. Így megkaptuk a kép számunkra fontos területét, amely ugyan kevesebb de még mindig pixelek ezreit (akár millióit) jelentheti, ami a legtöbb algoritmus számára túl sok feldolgozandó adatot jelent. A sűrű képpont felhőből kezelhető mennyiségű adatot az ún. featureök, vagy „vizuális jellemzők" kinyerésével kapunk. Ez legtöbbször vonalak, sarkok vagy egyéb szempontból speciális elemek detektálását jelenti. Így már nem pixelekkel, hanem kezelhető mennyiségű képi jellemzővel kell dolgoznunk. Ezek alapján már megkereshetjük az előre eltárolt adatbázisban a jellemzőkhöz legjobban hasonlító objektumot (felismerés), vagy kiszámíthatjuk a legjobban illeszkedő (mozgás, pozíció) paramétereket. Ne felejtsük el azt sem, hogy a képi jellemzők kinyerése során hamis találatokat is kaphatunk, amiket fel kell ismerni, és ki kell szűrni az adathalmazból. A cikkben egy a Magyar Honvédségben használt eszköz által készített digitális légi fényképen kívánom bemutatni a képanalízis egyes lépéseit.

2. ábra. Mintakép, kiindulási állapot. (SUAV kép)

ELŐFELDOLGOZÁS

Az előfeldolgozás célja, a nyers bemeneti adat előkészítése egyszerű műveletek és szűrők segítségével. Általában a két legfontosabb szempont a fölösleges információk eldobása, kiszűrése valamint a bemeneti képeken megjelenő nem lényeges különbségek kiküszöbölése. Ez utóbbira jó példa az automatikus célpontfelismerés: napsütésben (erős kontraszt, világos kép), felhős időben (gyenge kontraszt) és éjszaka (sötét kép) is fel kell ismernünk ugyanazt az objektumot. Éppen ezért a legelső lépés a világosság és a kontraszt azonos szintre állítása, így a későbbiekben ez nem okozhat problémát.



3. ábra. Mintakép, előfeldolgozás utáni állapot.

SZEGMENTÁLÁS

A képszegmentálás alapvető célja, hogy a képnek olyan reprezentációját adja, amely egyszerűen feldolgozható és elemezhető automatizált módszerekkel. [1] Ez legtöbbször a képen található releváns objektumok elkülönítését és felcímkézését jelenti. A magasabb szintű képértelmezés így jelentősen redukált adatmennyiséggel és egyben jól definiált szemantikával rendelkező reprezentáción végezhető. Három féle szegmentálási eljárást ismertetek a következőkben.

1. Intenzitás alapú szegmentálás

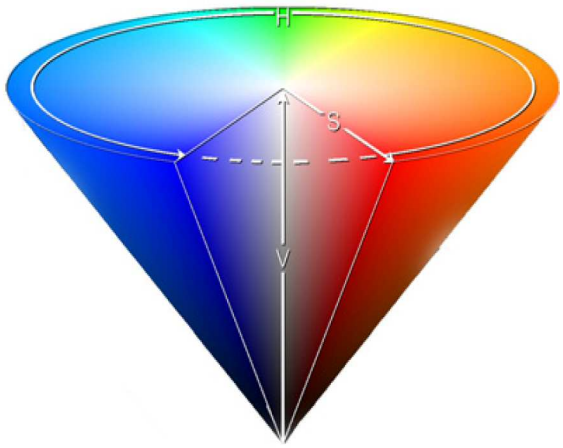
Az egyik legegyszerűbb szegmentálási eljárás szerint az objektumokat az intenzitásuk alapján jelöljük ki, vagyis kijelölünk egy intenzitáshatárt, amely feletti intenzitású pixeleket objektumhoz tartozónak, az alattiakat pedig háttérnek (vagy irrelevánsnak) tekintjük. Hátrány, hogy bonyolultabb, inhomogén környezetben pontatlan szegmentáláshoz eredményez.

Hisztogram-alapú adaptív küszöbérték alkalmazásával általában lehet javítani a szegmentálás minőségén. Ezen eljárások közt találhatóak olyanok, amelyek valamilyen heurisztika alapján állapítják meg a hisztogram jellemzőiből a küszöbértéket. Ezen kívül léteznek olyan eljárások is, amelyek matematikai alapon, valószínűségi modelleket alkalmazva határozzák meg az ideális küszöbértéket.

2. Szín alapú szegmentálás

A szín alapú szegmentálás elgondolása szerint, a releváns objektumokat színük alapján tudjuk elkülöníteni és lokalizálni. Bár bonyolultabb, inhomogén alakzatok és látképek esetén a módszer nem hatékony, számos alkalmazásban megfelelő eredményeket lehet vele elérni; pl.: színes markerek, vagy ismert objektumok kijelölése.

Egy színes kép digitális megjelenítése és tárolása a képpontonkénti (pixel) színintenzítás érték alapján történik. Ezt az intenzítás értéket általában háromdimenziós vektorral írjuk le. Ezen vektortér komponenseinek meghatározása az alkalmazott színtér alapján változhat. A színterek részletes ismertetése ia 2. számú felhasznált irodalomban található.



4. ábra. HSV színtér

HSV színtér

A színinformáció számos lehetséges alternatív reprezentációja közül a HSV (Hue, Saturation, Value) színmodellt választottam bővebb vizsgálatra. A modell koncepciója a következő: a H csatorna színtónust, az S csatorna a színtelítettséget, míg a V csatorna a fényességértéket képviseli. Mivel a magas fényességértékű színek jobban elkülöníthetőek, az alacsony fényességértékűek pedig kevésbé, ezért kézenfekvő a lehetséges H, S és V értékek által kifeszített térrészt kúpként ábrázolni (4. ábra).

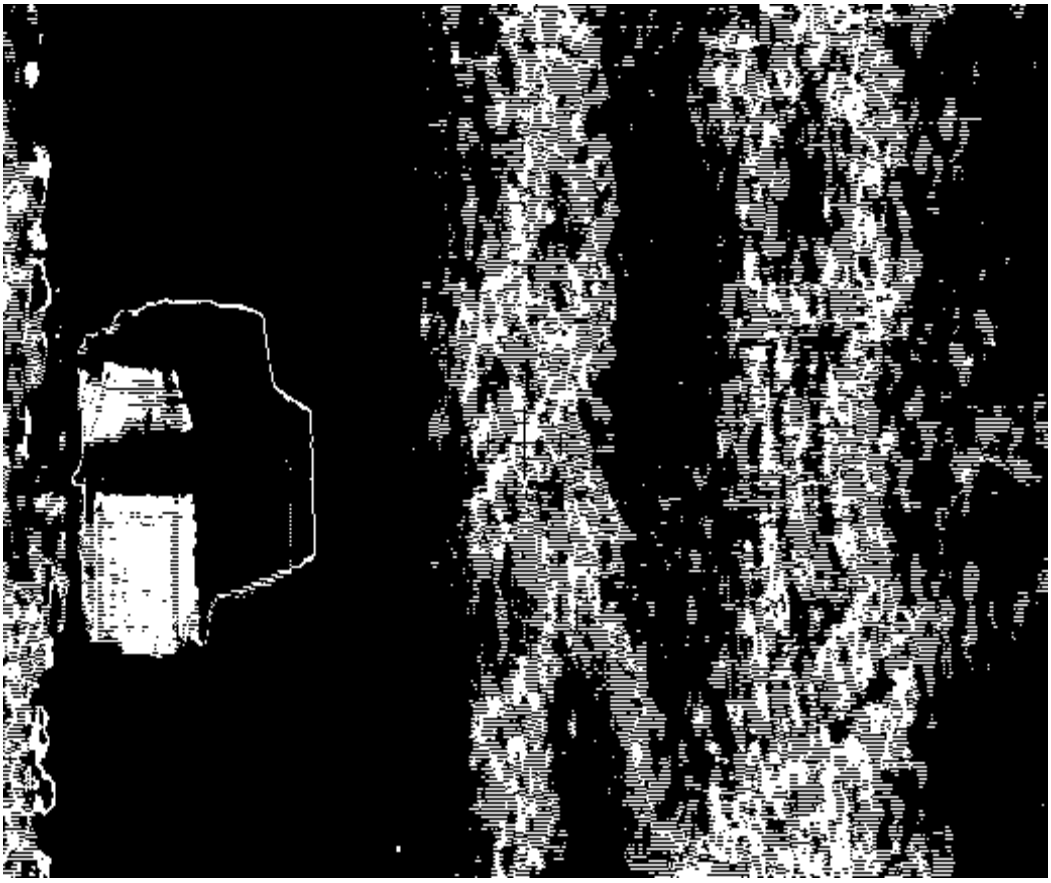
Az RGB színtérből HSV-be való áttérés egy nemlineáris transzformációval valósítható meg. Az alábbiakban feltesszük, hogy R, G és B [0,255] közti értéket vehet fel, és H-t, S-t és V-t a [0,360], [0,255] illetve [0,255] intervallumon keressük. Továbbá legyen min=min(R,G,B), és max=max((R,G,B)

$$H=\begin{cases} \dfrac{60*(G-B)}{\max(R,G,B)-\min(R,G,B)}+0, ha \max(R,G,B)=R, G\geq B \\ \dfrac{60*(G-B)}{\max(R,G,B)-\min(R,G,B)}+360, ha \max(R,G,B)=R, G<B \\ \dfrac{60*(B-R)}{\max(R,G,B)-\min(R,G,B)}+120, ha \max(R,G,B)=G \\ \dfrac{60*(R-G)}{\max(R,G,B)-\min(R,G,B)}+240, ha \max(R,G,B)=B \end{cases} \quad (1)$$

$$S=\begin{cases} 0 & ha \max(R,G,B)=0 \\ 1-\dfrac{\min(R,G,B)}{\max(R,G,B)} & ha \max(R,G,B)\neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$V=\max(R,G,B) \quad (3)$$

A konverzió elvvégeztével már megfogalmazhatóak olyan küszöbözési feltételek, amelyek hatékonyan kihasználják az új színtérbeli reprezentáció előnyeit.



5. ábra. Mintakép, szín alapú szegmentálás eredménye.

3. Élkiemelés alapú szegmentálás

Az élkiemelés alapú szegmentálás az eddig ismertetettekkel szemben nem az objektumok homogenitására épít, hanem arra hogy az objektumok közt éles határvonal lép fel. Mint a 6. ábrán látható képen a határvonalak kiemelése alapot ad arra, hogy az objektumokat elkülönítsük egymástól.

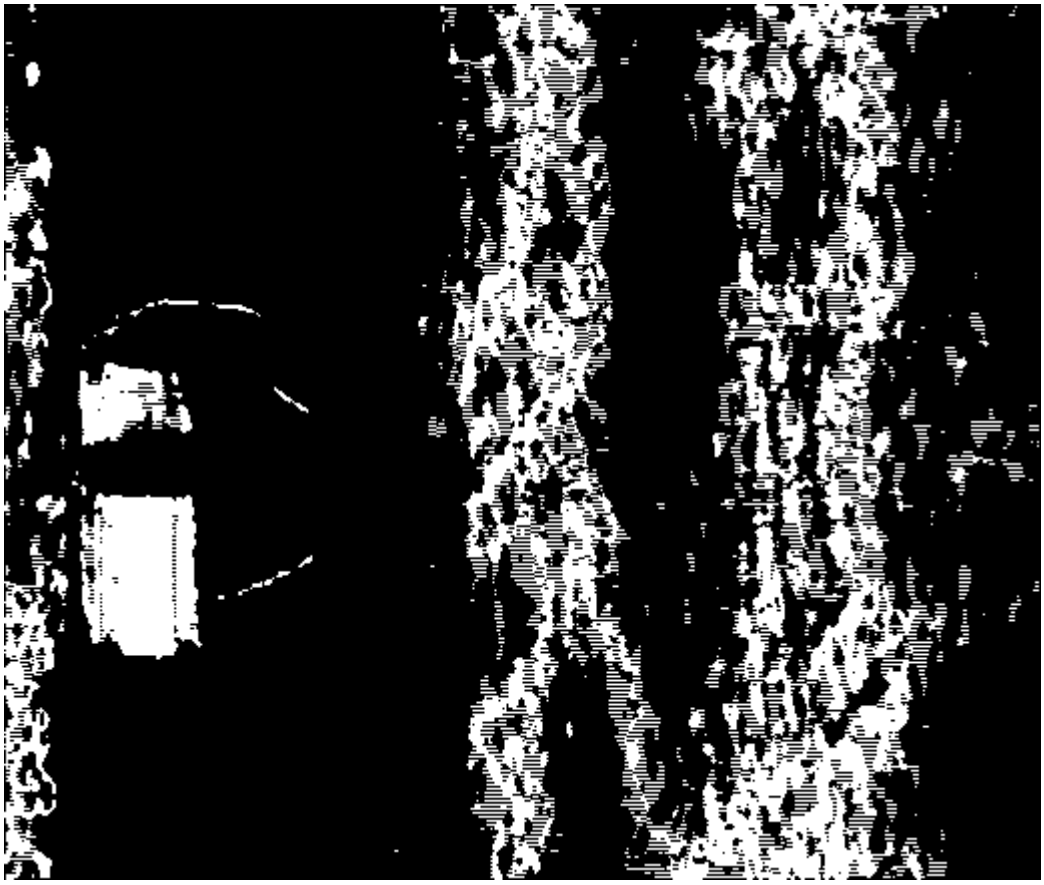
Él kép javítása

Az élkiemelési eljárások (melyek bemutatására jelen munkában nem térek rá) kimenete legtöbbször zajos és erősen töredezett. Ennek oka abban keresendő, hogy a képen éles intenzitásváltozás nem csak a (valós világban különálló) objektumok határainál lép fel. Többek közt a felületi normális változása, a felület minőségének vagy mintázatának változása, a megvilágítás térbeli különbségei mind élként kerülhetnek kiemelése. Még nagyobb probléma, hogy az eredeti képet terhelő esetleges zaj is kiemelésre kerülhet az éldetekció során. Szegmentálási szempontból is fontos, hogy a bemeneti képen megszüntessük a pontszerű zajokat. Mindemellett fontos, hogy az eljárás a használható éleket ne változtassa meg (pl. ne simítsa el). Ennek egy lehetséges megoldása a mediánszűrő, melyet az alábbiakban mutatok be.

6. ábra. Mintakép, Canny szűrés eredménye.

Mediánszűrő

A mediánszűrő a nemlineáris szűrők csoportjába tartozik, azaz nem írható le konvolúciós operátorral. Az eljárás a jelfeldolgozás számos területén elterjedt a fentiekben is említett kedvező zajszűrő tulajdonságai miatt. Képfeldolgozásban való implementációi kétdimenziós, négyzetes ablakot használnak. Az ablakhoz tartozó pixelek intenzitásértékei közül sorrendben a középső kerül az ablak közepénél elhelyezkedő pixelhez hozzárendelésre. Az eljárás implementációjának kritikus része egyrészt az, hogy hogyan található meg hatékonyan a középső intenzitásérték, másrészt pedig az, hogy hogyan használható ki, hogy a képen végighaladva, az ablakok közt átfedés van.



7. ábra. Mintakép, mediánszűrés eredménye.

Feature detekció

Az előfeldolgozott és szegmentált képek már közvetlenül alkalmasak lehetnek arra, hogy bizonyos algoritmusok felismerjék vagy kövessék az azokon látható objektumokat. A gyakorlatban azonban ez kevéssé jellemző, ugyanis még így is képpontok ezreit, netán millióit kell feldolgozni, ami a legtöbb módszer számára még mindig kezelhetetlen mennyiség.

A karakterisztikus jegyek kinyerése képekből már évtizedek óta kutatott terület, így számtalan hatékony, már-már standardnak tekinthető algoritmust ismerünk. A legtöbb módszer a szomszédos képpontok különbségén, azaz a „képfüggvény deriváltján” alapszik. Matematikailag viszonylag jól megfogalmazható, hogy milyen feltételeknek kell teljesülniük az éleken és a sarkokon található képpontokban. Szintén nem nehéz egyenes vonalakat, vonalak metszéspontjait, köröket és egyéb szabályos geometriai formákat megtalálni a képen. Modern alkalmazásoknál – például objektum felismerése és követése – olyan jellemzőket is kinyernek a képekből, melyek nem csupán pozíciójukkal, hanem orientációval vagy mérettel is jellemezhetőek (például detektálják az apró pontokat és a nagyobb „korongokat” is, sőt ezek relatív méretét is). Az sem ritka, hogy egészen pontosan meghatározható dolgokat keresünk a képen: szemeket, kézfejet vagy éppen egy rendszámtáblát. Ilyen esetben akár egészen speciális algoritmusok is rendelkezésre állnak a hatékony feature detekcióra.

8. ábra. Mintakép, Feature detekció eredménye.

Felismerés és Modell illesztés

A karakterisztikus jegyek azonosítása után általában nem több mint néhány száz leíró, avagy descriptor tömöríti magába a feldolgozandó képi információt. Ez már sokkal kezelhetőbb, mint sok millió RGB képpont! Nem meglepő módon a gépi látás különböző alkalmazásai meglehetősen más és más módon dolgozzák fel ezt az információmennyiséget, de a két legnagyobb problémakör kétségkívül a felismerés és a modellillesztés.

A felismerés – legyen az célpont– a legtöbb esetben nem egy adott objektum felismerését jelenti, hanem egy – akár igencsak terjedelmes – adatbázisban, a legjobban illeszkedő elem megtalálását. A harcjármű felismerés esetében ez azt jelenti, hogy a megtalált leírók sorozatát, azaz feature vector-t kell összehasonlítani az adatbázisban található feature vector-okkal. A gyengébb rendszerek gyenge pontja legtöbbször a nem megfelelő leírók használata, illetve azok sikertelen és pontatlan detektálása. A felismerő rendszerek gyakran használnak tanuló algoritmusokat. Ez azt jelenti, hogy a téves és a sikeres felismerésből is tanul a rendszer, módosítja belső „állapotát”, így a továbbiakban egyre jobb felismerési valószínűséggel fog működni. Ezek a rendszerek nem is feltétlenül igényelnek kezdeti

adatbázist, helyette be lehet őket tanítani. A tanuló rendszerek lelke legtöbbször egy neurális háló, ami – az agyunkhoz hasonlóan – nem más, mint elemi „kapcsolók”, neuronok igen nagy és összetett hálózata. A hálózat bemenete a feature vector (leírók sorozata), kimenete, pedig lehet akár egy, akár több igen/nem kapcsoló. A betanítás szakaszában különböző képeket „mutatunk” a rendszernek, és figyeljük a kimenetet. Ha egy adott hálózati kapcsolat erősítésével sikeresebb a felismerés, akkor erősítjük, ellenkező esetben gyengítjük. Megfelelően nagy számú és tartalmú kép, valamint optimálisan kialakított háló és feature-ök használatával a rendszer képes lesz sikeresen felismerni azokat a képeket is, amelyek nem szerepeltek az eredeti tanítóhalmazban! Jellemzően akkor érdemes ilyen megközelítést alkalmazni, ha nem teljesen világos, hogy mik a karakterisztikus jegyek, milyen tulajdonságok alapján lehet egyértelműen felismerni a cél-objektumot, pl. álcázott haditechnikai eszközök. Természetesen nagyon körültekintően kell alkalmazni ezeket a tanuló algoritmusokat, hiszen sok olyan tényező van, ami befolyásolja a működést.

Az, hogy tudjuk, mi van a képen, azt jelenti, hogy rendelkezünk egy modellel, amely alapján meg tudjuk mondani, hogy kitalált paraméterek illeszkednek-e a mérésekhez, vagy nem. Az autonó felderítő eszköz például tudja, hogy körülbelül hogy néz ki egy adott haditechnikai eszköz többféle látószögből, és ezt össze is tudja hasonlítani a mérésekkel (azaz a légi képekkel). Ezek a feladatok is jellemző leírók detektálásával kezdődnek, az ismeretlen paraméterek kinyerése pedig általában két lépésben történik.

Az első lépésben, ha mód van rá, speciális szabályok alapján megmondjuk, hogy körülbelül mik a helyes paraméterek: nagyjából merre van a keresett fegyverzett, hozzávetőlegesen merre áll a harcjármű stb.

A második lépésben standard matematikai eszközökkel finomítjuk ezt a megoldást, azaz megkeressük azokat a paramétereket, melyek minimalizálják a különbséget a mért jellemzők, és a modell között.

A modellillesztés problémájánál is alkalmazhatóak tanuló módszerek.

ÖSSZEGZÉS

A cikkben áttekintettem, és példákkal szemléltettem a haditechnika eszközök légi felderítési lehetőségeit. A HSV színtérben végzett szegmentálás segítségével egy gyors, hatékony és robosztus előfeldolgozás végezhető a digitális képeken. Egy hasonló algoritmus célhardveres implementációja a szenzorokkal egybe építve alkalmas lehet UAV fedélzeti műszernek is. Az alábbi képen a RQ-7 Shadow 200 UAV látható, mely több mint 27kg fedélzeti műszert képes 7 órán keresztül a levegőbe juttatni, mint pl.: többfajta szenzort és elektronikus felderítő eszközt.

9. ábra RQ-7 Shadow 200 UAV

Az ilyen típusú felderítő eszközökben célhardvert alkalmaznak. Az ilyen típusú célhardver épülhet FPGA (Field Programable Gate Array) alapra. Az FPGA egy hatékony megoldás mobil rendszerek számára, mert kis fogyasztású, így tovább bírja akár harctéri alkalmazásoknál is. A kis fizikai kiterjedése és könnyű súlya is harci alkalmazhatóságát támasztja alá. A szükséges algoritmusok nagymértékű párhuzamosítására, és valósidejű megvalósíthatóságára ad lehetőséget.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Gonzalez, Woods, „Digital Image Processing”, Addison-Wesley, 1993, 93-104 o.

[2] SERGYÁN Szabolcs, Color Content-based Image Classification, 5th Slovakian-Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, January 25-26, 2007, 430 o.

[3] Lawrence O’GORMAN, Practical algorithms for imageanalysis, Cambridge University Pres, 2007

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Nagy János

ÉJJELLÁTÓ BERENDEZÉSSEL VÉGREHAJTOTT REPÜLÉSEK KOCKÁZATI TÉNYEZŐI

Az éjjellátó berendezések repülés közbeni használata jelentős előnyöket biztosít, lehetővé teszi az éjszakai földközeli repülést, a látás utáni navigációt, valamint a célok vizuális felderítését, ezáltal elősegíti a repülési feladat sikeres végrehajtását. Biztosítja a gépszemélyzetek számára, hogy éjszaka, gyenge természetes megvilágítottsági szint mellett, gyakorlatilag vaksötétben repüljenek olyan béke és harcfeladatokat, melyek sikeres végrehajtása elképzelhetetlen lenne éjjellátó berendezések használata nélkül.

Fontos hangsúlyozni, hogy ezen berendezések által nyújtott többlet képességek egyben új kockázati tényezőket is rejtenek. Az éjjellátók által létrehozott kép hiányosságai, az emberi érzékelés korlátai, valamint a környezeti tényezők hatása az éjjellátó berendezésekre eddig ismeretlen veszélyforrásként jelentkeznek. Szerte a világban, az éjszakai műveletek számottevően több balesettel és repülőesemény veszélyes helyzettel járnak, mint a nappali repülések. Ezen esetek jó része közvetlenül kapcsolatba hozható az éjjellátó berendezések technikai korlátaival, míg más esetekben a kiképzés hiányosságai, vagy a gépszemélyzet tagjai közötti nem megfelelő együttműködés okolható.

A cikk ezen kockázati tényezők elemzése során összefoglalja az éjjellátó berendezések technikai jellemzőit, az alacsony megvilágítási szint melletti látás korlátait, valamint az éjjellátó berendezések használatával kapcsolatos érzékelési problémákat.

A hadviselés történetében az éjszakai műveletek végrehajtása mindig jelentős nehézséget jelentett, ezért ha lehetett elkerülték az ilyen jellegű feladatokat. A katonáknak először tüzet, majd később mesterséges fényforrásokat kellett alkalmazniuk a harc sikeres megvívása érdekében. Az új technológiák betörése jelentősen megváltoztatta a helyzetet. Mérnökök és tudósok kidolgozták a megfelelő tudományos alapokat, és létrehozták azokat az eszközöket, amelyek lehetővé teszi a katonák számára, hogy uralhassák az éjszakát, és sikeresen megvívhassák harcukat.

Éjjellátó berendezések használata a repülésben:

Az éjszakai helikopter műveletek végrehajtását segítő berendezés először 1969-ben jelent meg az Egyesült Államokban. Mivel az érvényben lévő harcászati doktrínák ebben az időben nem követelték meg az éjszakai földközeli, vagy terepkövetéses repülést, a berendezés fejlesztése megállt. 1971-ben az amerikai hadsereg újraértékelte a harcászati alkalmazás követelményeit és meghatározták a terepkövetéssel történő repülések szükségességét nappal és éjszaka egyaránt. Ennek eredményeként került kifejlesztésre az első kisméretű, fedélzeten is alkalmazható éjjellátó rendszer, amely jelentős előnyöket biztosított a szabad szemmel végrehajtott éjszakai repülésekkel szemben.

Az éjjellátó eszközök működése:

Az éjjellátó eszközök működését tekintve két, egymástól eltérő módszert különböztethetünk meg. Az egyik eljárás a képerősítés elvét alkalmazza – ezen az elven működnek az éjjellátó

szemüvegek –, míg a másik a tárgyak által kibocsátott hőt érzékelő infravörös hőkamera (FLIR)[1].

← Rövidebb hullámhossz Hosszabb hullámhossz →

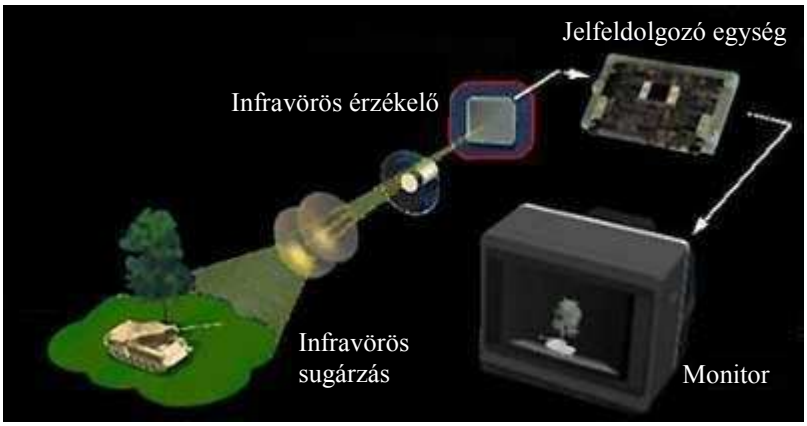
Látható fény 450nm – 750 nm	**Közeli infravörös** 750nm – 1300 nm	**Közepes infravörös** 750nm – 1300 nm	**Távoli infravörös** 750nm – 1300 nm
Amit az emberi szem lát	Csillagfény	Infravörös távirányítók	Meleg tárgyak infravörös sugárzása
├····· Éjjellátó szemüveg ·····┤		├ ····· FLIR ····· ┤	
├··· Amit a szem érzékel ···┤			

1. ábra Az éjjellátó eszközök érzékelési tartománya[2]

Infravörös hőkamera:

Minden objektum, melynek hőmérséklete az abszolút nulla fok felett van, infravörös sugárzást bocsát ki magából. A nap nem csak látható fényt formájában sugározza energiáját, hanem az elektromágneses spektrum teljes terjedelmében. A kisugárzott infravörös fény a földfelszínt, az azon lévő természetes és mesterséges objektumokat elérve részben elnyelődik, aminek következtében ezen objektumok hőmérséklete megváltozik.

Napnyugta után a napközben felmelegedett anyagok energiát sugároznak ki. Ez az energia a hőmérséklettel arányos mennyiségű infravörös összetevőt is tartalmaz, ami lehetővé teszi, hogy a különböző mértékben felmelegedett tárgyak jól láthatóak és megkülönböztethetőek legyenek a hőkamera által létrehozott képen.



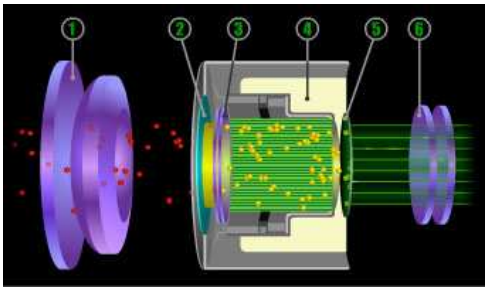
2. ábra hőképes képalkotás alapvető elemei[3]

A berendezés előnye, hogy működéséhez nincs szükség semmilyen fényre, ezért az éjjellátó szemüveggel szemben nagyon rossz megvilágítási feltételek mellett is alkalmazható. Méreténél fogva, valamint a kép megjelenítéséhez szükséges képernyő miatt fixen telepített, utólagos beépítése csak gyári szintű modernizáció keretében lehetséges.

[1] Forward Looking Infrared – Előre néző infravörös kamera
[2] FM 3-04.203 Fundamentals of Flight May 2007, Headquarters, Department of the Army - alapján
[3] http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/nightvision2.htm - alapján. Letöltve:2010.03.20.

Képerősítés elvén működő berendezések:

A képerősítés elvét felhasználó berendezések működéséhez szükség van fényre, igaz olyan minimálisra, hogy a szemünk teljes sötétséget érzékelne. A működési elv azon alapul, hogy a készülék a belépő fotonokat egy speciális anyaggal bevont fotókatód segítségével átalakítja elektronokká, az elektronok számát megsokszorozza, majd a felgyorsított elektronokat egy foszfor képernyőre irányozza, ahol azok újra látható fénnyé alakulnak, melyet a felhasználó a nézőkén keresztül érzékel. Az éjjellátó eszköz által létrehozott kép ekkor már a megfigyelt részlet tiszta, zöldes színű újjáalkotása.



1. Objektív
2. Fotókatód
3. Mikrocsatornás lemez
4. Magas feszültségű tápegység
5. Foszforernyő
6. Okulár

3. ábra. Az éjjellátó berendezés működési vázlata[4]

Az éjjellátó szemüveg a látható és a láthatóhoz közeli infravörös fényt érzékeli. Az éjszakai látást nagymértében javítja, a modern berendezések erősítése akár 50 000 - szeres is lehet. Hátránya ugyanakkor, tökéletes működéséhez szigorú megvilágítottsági feltételek szükségesek, hatásfokát jelentősen lerontja a túl erős, vagy nem megfelelő hullámhosszú környezeti fény, ezért a korábban rendszeresített repülőeszközök fedélzetén használva jelentős kompatibilitási problémák léphetnek fel.

Az éjszakai és a nappali látás közötti különbségek

A fény érzékelése:

Az emberi szemben két különböző típusú érzékelősejt szolgál a fényinger felvételére és kémiai ingerré történő átalakítására. Ezeket a sejteket - alakjuk után - pálcika és csapsejteknek nevezzük. Bennük a fény hatására olyan kémiai anyagok termelődnek, amelyek további idegsejteken végighaladva továbbítják a külvilág fényingereit az agy felé.

A csapsejtek alapvetően a nappali, erős fényviszonyok melletti látást biztosítják. A retina középső részén szemlencsével szemben koncentrálódnak ezért ez a retinaterület specializálódott az éles és intenzív képek, valamint a színek érzékelésére, mivel ezek a sejtek tartalmazzák a fényérzékeny jodopszin nevű kémiai anyagot, amely lehetővé teszi a színlátást.

A pálcikasejtek szerepe a gyenge fényviszonyok közötti látás biztosítása. A retina perifériás részén szinte kizárólag ilyen érzékelő sejtek találhatók. A perifériás látás kevésbé precíz, mint a retina középső részén érzékelt, mivel nappali fényben ezek a sejtek csak a szürke árnyalatait, valamint homályos formákat és alakzatokat érzékelnek. A pálcikasejtek éjszakai fényérzékelése összefügg a bennük található rodoszpin nevű kémiai anyaggal. A

[4] http://www.atncorp.com/hownightvisionworks (2009.09.20.)

megvilágítási szint csökkenésével a sejtekben megemelkedik a rodoszpin szintje, és a fénnyel szemben egyre érzékenyebbek lesznek.

A két különböző típusú érzékelősejt eltérő tulajdonságaiból adódóan a nappali és éjszakai látás közötti különbségek alapvetően a színlátásban, a részletek megfigyelésének lehetőségében és a retina érzékenységében jelentkeznek.

Sötét adaptáció:

Amikor egy jól megvilágított helységből kimegyünk a sötétbe, először alig látunk valamit, majd néhány perc múlva kezdjük észlelni a homályos formákat és a tárgyak körvonalait. Az idő múlásával egyre több részletet leszünk képesek megfigyelni, ahogy szemünk fokozatosan hozzászokik a sötétséghez.

A jelenség oka, hogy a pálcikasejtek fényérzékenysége mintegy tízezerszerese a csapsejtekének. Amikor a környezeti fényviszonyok a telihold fényereje körüli értékre csökkennek, a pálcikasejtek átveszik a csapsejtek szerepét. Legnagyobb fényérzékenységüket kb. 30-40 perc sötét környezetben tartózkodás után érik el, ezért van szükség szemünk sötéthez szoktatására, az úgynevezett sötét adaptációra.

Az alkalmazkodás mértéke és üteme egyénenként változhat, az azonban általános, hogy az első 30 percben az érzékenység drámaian nő, majd az ezt követő időszakban már alig emelkedik. A teljes adaptációhoz személytől függően 30-45 perc szükséges. Minél alacsonyabb az adaptáció előtti megvilágítottsági szint, annál gyorsabb a teljes folyamat.

Ha a sötétséghez hozzászokott szem erős fénynek van kitéve, a kialakult fényérzékenység átmenetileg lecsökken. A csökkenés mértéke a fény erősségétől és az expozíciós időtől függ. A repülőeszközökön általában megtalálható villanófények sötét adaptációra gyakorolt hatása kicsi, mivel a felvillanás rövid ideig tart. Ugyanakkor a jelzőrakéták, kereső fényszórók, vagy nagyobb villámok jelentősen csökkenthetik az adaptáció mértékét. Ilyen esetekben a már korábban kialakult fényérzékenység visszanyerésére további 5-45 perc szükséges teljes sötétségben.

A fényerősítés elvén működő berendezések használata befolyásolja a sötét adaptációt. Ha egy korábban már a sötétséghez hozzászokott személy éjjellátó szemüveget visel, majd azt sötét környezetben leveszi, az egyébként 30 perc alatt bekövetkező adaptációs szint 2-3 perc alatt elérhető.

Az éjjellátó eszközök használatához nincs szükség adaptációra. A szemüveg alkalmazásával a látás alapvetően nappali (fotópikus), de a berendezés által előállított alacsony fényerejű kép nem teljesen távolítja el a rodopszint, ezért az éjjellátó szemüveg számottevően nem csökkenti az adaptáció mértékét.

A színlátás:

Az egyik legnagyobb különbség az éjszakai és nappali látás között, hogy a színlátás csökken, vagy teljesen eltűnik. A megvilágítási szint csökkenésével a szem a nappali (fotópiás) látásról áttér az éjszakai (szkotópiás) látásra. Az éjszakai látás során színek nem azonosíthatók, mert a pálcikasejtek nem képesek különböző hullámhosszúságú fénysugarakat megkülönböztetni,

ezért a meg nem világított tárgyak színei nem állapíthatók meg éjszaka, bár a visszavert fény intenzitása által a sötét és világos színek megkülönböztethetők.

Ha a tárgy fényessége meghaladja a csapsejtek érzékelési küszöbét a színek érzékelése azonnal lehetővé válik. Ez az oka annak, hogy a jelzőrakéták és a repülőtéri jelzőfények színei éjszaka is tökéletesen láthatók.

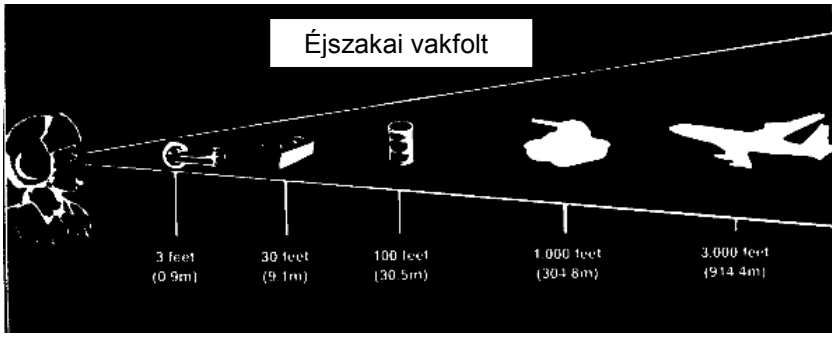
A kép részletessége:

Az apró részletek érzékelése éjszaka lehetetlen, mivel rossz fényviszonyok között a látás élessége nagymértékben lecsökken. A telihold fényénél a látás élessége egy hetede a napfénynél tapasztalhatónak, ezért éjszaka csak a nagyméretű, vagy közeli objektumokat tudjuk azonosítani. A tárgyak éjszakai azonosítása kontúrjuk, körvonalaik alapján lehetséges, nem apró jellegzetességeik alapján.

A retina érzékenysége:

Az éjszakai és nappali látás közötti különbség egyik fő oka a retina egyes részeinek különböző érzékenysége. Sötétben a retina középső részének érzékelő képessége lecsökken és éjszakai vakfolt alakul ki. Ennek oka, hogy a retina középső részén csak csapsejtek találhatók, melyek alacsony megvilágítási szint mellett nem érzékelik a fényt. Mivel az éjszakai vakfolt mindkét szemnél a látómező közepén található, hatását a binokuláris (két szemmel történő) látás sem tudja kompenzálni, ezért a közvetlenül előttünk lévő tárgy nem látható.

Az éjszakai vakfolt hatásaként a távolság növekedésével egyre nagyobb tárgyak válnak láthatatlanná. Ahhoz, hogy éjszaka is minden tárgyat észlelhessünk, a perifériás látásunkat is használnunk kell, valamint be kell gyakorolnunk az éjszakai repülésnél használt pásztázási eljárásokat. Az éjszakai vakfolt és a távolság összefüggését a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra. Az éjszakai vakfolt hatása a távolság növekedésével[5]

AZ ÉJJELLÁTÓ SZEMÜVEGEK ÁLTAL LÉTREHOZOTT KÉP

Az éjjellátó szemüvegek egy világos „ablakot” nyitnak a sötét környezetbe, ezáltal harcászati előnyhöz juttatják felhasználóikat, és növelik a repülésbiztonságot. Ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy az éjjellátó szemüveggel történő repülés nem egyenértékű a nappali fényviszonyok közötti repüléssel, a létrehozott kép nagyon sok tekintetben elmarad a napfénynél látottakhoz képest.

[5] TC1-204 Night Flight Techniques and Procedures (Headquarters Department of the Army 1988

Fókusztávolság

Az ember szemei fókusztávolságukat egyszerre módosítják, kb 15 cm-től a végtelenig. A fókuszálás nagyon gyorsan történik, tudatosan, vagy önkéntelenül. Az éjjellátó szemüveg esetében mindkét csatorna szemlencséit manuálisan, egymástól függetlenül kell beállítani. A szemüvegek optikai fókusztávolsága általában végtelenre van állítva, annak érdekében, hogy a külső világ tisztán látható legyen. Ez azt eredményezi, hogy a kabinban lévő műszerek leolvasása nem lehetséges a szemüvegen keresztül, mivel a műszerfal csak elmosódottan látszik. A megoldás az, hogy a pilóta szabad szemmel, az éjjellátó alatt néz le műszerekre. A váltás a külső világ megfigyeléséről a műszerekre időt vesz igénybe. A szem fókuszálása végtelenről egy közeli pontra, és vissza kb. 1 másodpercet vesz igénybe. Normál, nappali repülés közben a bepillantás a műszerfalra, a műszerek leolvasása, majd a visszatérés a külső világ megfigyelésére 3-5 másodperc alatt történik. Éjszakai repülés közben ez a folyamat még több időt vesz igénybe, mivel az éjjellátó alatti lepillantás szokatlan, természetellenes szögben történik, valamint valószínűleg jelentős különbség lesz a műszer megvilágítás és az éjjellátóban látott fényerő között, ami miatt a szemnek alkalmazkodnia kell az új fényviszonyokhoz.

Látómező

Az éjjellátó szemüvegek alkalmazása során a pilóta látómezője jelentősen lecsökken a szabad szemmel történő repüléshez képest. A mai éjjellátók megközelítőleg 40°-os látómezőt biztosítanak. A perifériás látás ugyan lényeges információkat szolgáltat a pilótafülke megvilágított műszereiről, de a pilótafülkén kívüli perifériás látásról gyakorlatilag nem beszélhetünk, mivel a pilóta szemei nem alkalmazkodtak a kinti sötét környezethez.

A modern éjjellátó szemüvegek által biztosított 40^0-os látószög csak akkor érhető el, ha a szem és a szemüveg lencséje közötti távolság a típusra meghatározott optimális értékre van beállítva (általában 18mm körüli), ha a távolság ennél nagyobb, a látószög csökken.

Előfordulhat, hogy nem használjuk ki teljes mértékben az éjjellátó által nyújtott lehetőségeket, mivel adódhat olyan sisak/szemüveg párosítás, ahol a rögzítési lehetőségek korlátozottak, és nem teszik lehetővé az optimális távolság beállítását. Van olyan eset is, amikor a gépszemélyzet tag szándékosan nagyobb távolságot állít be, hogy ezáltal jobb pozíciót érjen el a szemüveg alatti lepillantáshoz.

Szabad szemmel végrehajtott repülés közben a pilóták a perifériás látás segítségével nyernek információt a repülőeszköz sebességéről, magasságáról, az akadályokról, valamint a repülőeszköz térbeli helyzetéről, miközben szemük folyamatosan pásztázza a látóteret. A természetes reakció egy addig nem látott tárgy megjelenésére a perifériás látótérben, hogy fejünket is, szemünket is a tárgy irányába fordítjuk. Az éjjellátó szemüvegek használata teljesen más, olykor természetellenes pásztázási módszereket kíván. A perifériás látás hiánya és a szemmozgás korlátozott használhatósága, valamint a beszűkült látómező a fej folyamatos, lassú mozgásával kompenzálható. Ezt az eléggé szokatlan módszert az éjjellátó kiképzés alatt kell megtanulni, és folyamatos gyakorlással kell fenntartani.

Mivel a szem mozgatása nem változtatja meg a látószöget, a pásztázáshoz a fejet kell elfordítani. Ugyanakkor a gyors fejmozgás szédüléshez és a térbeli helyzet elvesztéséhez

vezethet, ezért éjjellátó szemüveg használatával a pásztázást lassú és folyamatos fejmozgással kell végrehajtani. Amikor balról jobbra pásztázunk, a szemnek a berendezés által biztosított látószögön belül lassan kell mozognia balról jobbra, miközben a fej is jobbra mozog. Ezzel a módszerrel minimalizálni lehet a fej mozgását, mivel a gépszemélyzet tag $70\text{-}80^0$-os látómezőt tud átvizsgálni, miközben feje csak $30\text{-}40^0$-ot fordul. Mindazonáltal fontos hangsúlyozni, hogy a maximális látásélesség akkor érhető el, ha a személyzet a képerősítő cső közepén néz keresztül, mivel periférián a látásélesség közel a felére csökken.

Az amerikai hadsereg megfigyelései szerint a pásztázás közbeni fejmozgás sebessége a látószög csökkenésével arányosan növekszik. Ha a szemüveg által létrehozott kép felbontása (például a fényviszonyok, vagy az időjárási körülmények megváltozása miatt) csökken, ezzel együtt a fejmozgás sebessége is csökken. Ez utóbbinak valószínűleg az lehet az oka, hogy a rosszabb minőségű, kevesebb részletet tartalmazó kép megfigyeléséhez és azonosításához több idő szükséges.

Látásélesség, felbontóképesség

A látásélesség azt mutatja meg, hogy a szem egy bizonyos távolságból mekkora optikai jeleket képes elkülönítve felismerni. A látásélesség jellemzésénél az egyén látását a nagy társadalmi átlag alapján elfogadott ″normális″ látáshoz viszonyítják. A normális látás 5/5, ami azt jelenti, hogy az alany 5 méterről akkora jelet ismer fel, amekkorát az egészséges szem is 5 méterről látna.

Országonként változóak lehetnek a látásélesség meghatározásának körülményei, Magyarországon 5 méterről, de van ahol 6 méterről használják az olvasótáblát és határozzák meg a látásélességet. A tengerentúlon 20 lábról végzik a vizsgálatokat. Az eredményt általában hányados formájában fejezik ki. A normális látás 5/5, 6/6 vagy 20/20 értékekkel fejezhető ki. A napjainkban használatos III. generációs éjjellátó szemüvegek által biztosított látásélesség optimális körülmények között 20/40, a valóságban azonban a gépszemélyzet ritkán találkozik optimális körülményekkel.

A felbontóképesség alatt azt a legkisebb távolságot értjük, ahol két pont még különállónak látszik. Az átlagos emberi szem felbontóképessége 0,1-0,3 mm. Ha két pont ennél közelebb esik egymáshoz, azokat egy pontként érzékeljük.[6]

Az éjjellátó szemüveg optimális felbontóképessége jó fényviszonyok között, kontrasztos tárgy megfigyelésekor érhető el. A megvilágítottsági szint csökkenésével a felbontóképesség is csökken, mivel ezek a berendezések fényerősítés elvén működnek.

Annak érdekében, hogy a szemüveg által nyújtott felbontóképességet teljesen kihasználhassuk a szemlencséket tökéletesen a felhasználó szemeihez kell igazítani. Mindkét szemlencse egymástól függetlenül állítható, – típustól függően – általában +2 és -6 dioptria között. Ez lehetővé teszi, hogy a gépszemélyzet tagjának repülés közben ne kelljen viselnie megszokott szemüvegét.

[6] www.mtk.nyme.hu/fileadmin/user.../2.gyak_2hetente.pdf; Letöltve: 2010.03.29.

Távolságbecslés:

A pontos távolságbecslés minden pilóta számára fontos, különösen a forgószárnyas pilóták számára. A helikopter természeténél fogva fák és egyéb akadályok között manőverezik, terepkövetéssel hajtja végre feladatai többségét. Szűk helyeken, 1-2 méter magasságban manővereznek, vagy éppen a megadott pont felett, az előre meghatározott magasságon kell függeszkedniük hosszú perceken keresztül. Ezek a manőverek pontos és biztonságos végrehajtása távolság becslésének képessége nélkül nem lehetséges.

Az éjjellátó szemüvegek nem rendelkeznek nagyítással, a valóságról 1:1 arányú képet közvetítenek. Ennek ellenére, éjjellátó használatával hajlamosak vagyunk a távolságok túlbecsülésére. A tárgyakat távolabbinak (vagy kisebbnek) érzékeljük, mint a valóságban.[7] Az ilyen jellegű érzéki csalódások földközeli repülések, vagy leszállás közben végzetes következményekkel járhatnak.

Környezeti tényezők

A környezeti tényezők jelentősen befolyásolják az éjjellátó szemüvegek által létrehozott kép minőségét. Ezek a tényezők alapvetően a megvilágítottsági szint és az időjárás. Mivel ezek a berendezések a képerősítés elvén működnek, minimális fényre szükség van elfogadható működésükhöz. A fényforrások lehetnek természetesek, mint például a hold, vagy a csillagok és a mesterségesek, mint például a települések fényei.

A hold és a csillagok jelentős mennyiségű energiát bocsátanak ki, amely az emberi szem számára láthatatlan, azonban az éjjellátó berendezések működéséhez elengedhetetlenek. A csillagok minden irányba sugározzák fényüket, míg a hold a naphoz hasonlóan pontszerű fényforrás, mely árnyékot vet és holdkeltétől holdnyugtáig keresztül vándorol az égbolton. A hold keltének és nyugtának időpontja, a horizont feletti magassága, a kisugárzott fény mennyisége a repülés tervezéséhez szükséges alapvető adatok, melyeket adott területre vonatkozóan a meteorológiai szolgálat biztosít.

A repülés irányához viszonyítva a hold helyzete, az égbolt fényessége és a mesterséges fényforrások alapvető információk, melyek meghatározzák az éjjellátó szemüveg által létrehozott kép minőségét. A fényforrás irányába történő repülés csökkenti a berendezés hatásfokát, csakúgy, mint nappal a nap irányába történő repülés, míg a fényforrástól való elrepülés javíthatja az előállított képminőségét. A tereptárgyak, vagy mesterséges építmények árnyékában lévő objektumok, tárgyak általában nem érzékelhetők, a repülés előzetes tervezésekor a haladási irány szerinti árnyékoltságot fontos tényezőként kell figyelembe venni. Legtöbb elektromos vezeték a repülési iránytól függetlenül láthatatlan a szemüveg számára, azonban a vezetékhez tartozó oszlopok elárulják jelenlétüket.

A légköri adatok szintén alapvetően befolyásolják a feladat végrehajtását. Optimális feltételek tiszta, száraz éjszaka állnak fenn. Párás időben a tárgyakról visszaverődő fényt a levegőben lebegő vízrészecskék szétszórják, rontva ezáltal a létrehozott kép minőségét. Az eső, hó, köd, por, vagy füst jelenléte különböző mértékben ugyan, de mind rontják a működési feltételeket. Általánosságban elmondható, hogy azok a légköri tényezők, melyek rontják az éjjellátó

[7] Brickner, Wagner, and Gopher, 1987

nélküli repülési feltételeket, hasonlóképp negatív hatással vannak az éjjellátó szemüveggel végrehajtott repülésekre is.

A kevés tapasztalattal rendelkező gépszemélyzet tagok nem minden esetben észlelik az időjárási feltételek fokozatos romlását. Ennek egyik oka az, hogy az éjjellátó szemüvegek beépített szabályzórendszere a külső megvilágítottsági szint értékének nagymértékű változása esetén is igyekszik kijelző fényerejét azonos szinten tartani, ezáltal a képminőség kismértékű, fokozatosan bekövetkező romlása nem szembetűnő. A légköri feltételek romlását egyértelműen jelezheti a megnövekedett képzaj. A magas képzaj szint általában azt jelzi, hogy a berendezés működési feltételeinek határértékén dolgozik.

A felhőzet jenléte csökkenti a természetes fényforrások által kibocsátott fény erejét, ugyanakkor felerősítheti a mesterséges fényforrásokat, mint például, a városok, bevásárló központok, autópályák megvilágításának fényeit.

A környezeti tényezők hatásainak összegzéseként elmondható, hogy az éjjellátó szemüveg kizárólag arra használható, hogy a gépszemélyzet tagjainak munkáját látás meteorológiai körülmények között segítse. Az éjjellátó szemüveg nem használható műszeres meteorológiai körülmények közötti repülések végrehajtására, a szemüveg használata nem változtatja meg a látás meteorológiai körülmények közötti repülések időjárási minimumát. Lehetséges, hogy akadnak olyan enyhén párás területek, melyeken az éjjellátó szemüveg könnyedén keresztül lát, ugyanakkor ilyen esetekben megnő az esélye annak, hogy a gépszemélyzet nem szándékoltan kerül kiképzettségi szintjét meghaladó időjárási körülmények közé, ezért a repülés csak olyan időjárási viszonyok között hajtható végre, melyben a gépszemélyzet látás szerinti repülést tud folytatni az éjjellátó szemüveg képének leromlása, vagy elvesztése esetén is.

Az éjjellátó szemüveg fedélzeti integrációja

Számos tényezőt kell figyelembe vennünk az éjjellátó berendezések éjszakai műveletekbe történő sikeres integrálásához. A gépszemélyzet tagok sisakjait módosítani kell az éjjellátó szemüvegek rögzíthetősége érdekében, a pilótáknak meg kell szokniuk az extra súlyt és a megváltozott súlyponthelyzetet. A repülőeszköz üvegezése nem biztos, hogy alkalmas a közeli infravörös fények áteresztésére, valamint a legtöbb repülőeszköz külső és belső fénytechnikai rendszere sem éjjellátó kompatibilis, így ezeket a fényeket ki kell kapcsolni, vagy át kell alakítani.

A szemüveg rögzítése:

Az éjjellátó szemüveg felszerelése megnöveli a fejre ható súlyterhelést és megváltoztatja a sisak gyárilag kialakított súlyponthelyzetét, melyet az ellensúly felszerelésével sem lehet pontosan az előzetesen beállított gyári értékre visszaállítani. A megváltozott súlypont és a hozzáadott súly együttesen nyomatékot hoznak létre, mely a fejre és a nyak izmaira hat.

Amennyiben a súlypont előre helyeződik, a nyak és hát felső részének izmai többlet feladatra kényszerülnek, mert nekik kell a fejet megtartani. A nyak- és a felső-hátizmok gyorsan elmerevednek, kötötté, spasztikussá (görcsössé) válnak, a nyaki mozgások

beszűkülnek. Ennek következményeként az egész nyak- és vállövi terület érzékennyé és fájdalmassá válhat, és egyre gyakoribb fejfájás is jelentkezhet.[8]

A megnövekedett súly negatív hatása elsősorban a fej lassabb mozgatásában, ezáltal a pásztázás hatékonyságának csökkenésében jelentkezik, melynek fő oka az izom merevsége. A fej és a nyak izmainak elfáradása megnöveli a reakció időt, ami ezen izmok mozgatásához szükséges. Éjjellátó szemüveggel végrehajtott repülések során a vizuális információ elsősorban a fej folyamatos mozgatásával (pásztázás) biztosítható, a nagyobb reakció idő a manőverező képesség csökkenéséhez vezethet, ezáltal veszélyhelyzetet idézhet elő.

Annak ellenére, hogy baleset esetén a szemüvegek a típustól függően beállított terhelés értéknél letörnek a sisakról, a határérték eléréséig létrejövő nyomaték jelentősen növeli a sérülés veszélyét. Mivel a szemüveg kiemelkedik a sisak síkjából, vészelhagyáskor nem zárható ki, hogy az ejtőernyő nyitásakor a zsinórzat beleakad a kiálló részekbe, és komoly sérüléseket okoz. A helyzeten nem változtat az sem, ha a szemüveget a vészelhagyás előtt eltávolítják, mivel a sisakon maradó talp ugyanolyan veszélyforrást jelent. A sisak levételével ugyan a zsinórzat beakadásának veszélye megszűnik, ugyanakkor a sisak nélküli vészelhagyás semmiképp sem javasolt, mivel még a fentiekben leírt sérülésveszélynél is nagyobb kockázattal járna.

A fülke méretei, a pilótafülke üvegezése:

Az éjjellátó szemüveg hatékonyságára jelentős hatást gyakorolhat a repülőeszköz pilóta-fülkéjének üvegezése, mivel vannak olyan üvegezések, melyek a látható fényt teljes egészében átengedik, azonban a látható fényhez közeli hullámhosszú infravörös fény átengedő képességük gyenge. Legtöbb üveg tervezésénél a látható fény tökéletes áteresztését tartották elsődleges szempontnak, és elnyelik az olyan hullámhosszú fényt, amelyre az éjjellátó berendezések különösen érzékenyek, így azok működéséhez nem biztosítanak optimális feltételeket, és a létrehozott kép minőségét jelentősen lerontják.

A sisakra rögzített szemüveg előrefelé jelentős mértékben (15-20 cm) kiáll a sisak vonalából. Kisméretű pilótafülkékben, ahol közel van az oldalsó üvegezés, a helyhiány jelentősen megnehezíti, hogy a pilóta a korábban megszokott mozdulatokkal körülnézzen. Ha az éjjellátó beleakad az oldalüvegbe, a berendezés lencséje megsérülhet, a szemüveg elállítódhat, mindamellett az ilyen helyzet a repülőeszköz vezetését sem könnyíti meg.

NVG kompatibilis fénytechnika:

A pilótafülke fényei:

A hagyományos pilótafülke megvilágítás ugyanolyan hullámhosszú fényt bocsát ki, amelyre az éjjellátó szemüveg is érzékeny. A nem kompatibilis fülkefények még akkor sem használhatók, ha fényerejüket minimumra csökkentjük, mivel még ekkor is bocsátanak ki látható és a láthatóhoz közeli infravörös fényt, ami jelentősen rontja a szemüveg által létrehozott kép fényerejét, kontrasztosságát, láthatóságát.

---

[8] http://www.sulypont.hu/nyakfej.html (Súlypont ízületklinika honlapja)

A pilóta a repülőeszköz vezetése közben az éjjellátón keresztül néz ki a gépből és a szemüveg alatt lepillantva ellenőrzi a fülke műszereit, kijelzőit és kapcsolóit. A nem kompatibilis megvilágítás még akkor is zavarja a szemüveg működését, ha a fényforrás nem esik a szemüveg látómezejébe, ezért a pilótafülke fényeit át kell alakítani annak érdekében, hogy az éjjellátó berendezéssel együtt is használhatóak legyenek.

A fülke átalakítása, a teljes kompatibilitás érdekében tartalmazhatja speciális színszűrők beépítését, a műszerek megvilágításának, a fénytablók égőinek cseréjét, valamint az utas/tehertér világításának módosítását.

A külső fények átalakításának szükségessége:

A repülőeszközök hagyományos külső világítása látható és a láthatóhoz közeli infravörös fényt bocsát ki, ezért nem kompatibilis az éjjellátó berendezésekkel. Az ilyen fények a gép saját személyzete számára, és más gépszemélyzet számára is megnehezítik a fényerősítés elvén működő berendezésekkel történő repülést.

Bár harchelyzetben, szükségmegoldásként az inkompatibilis külső fények kikapcsolhatók, ez nem teszi lehetővé a kötelékrepülést, béke kiképzés során pedig a repülési és repülésbiztonsági szabályok betartása mellett csak elkülönített légtérben alkalmazható. A megoldást csak az éjjellátó berendezésekkel kompatibilis fények alkalmazása jelentheti, fényszűrők, éjjellátóbarát, vagy az emberi szem számára láthatatlan fények formájában.

Összegzés

A tökéletesen előkészített, megfelelő felszereltséggel és kiképzettséggel végrehajtott éjjellátó szemüveges feladat jelentősen emeli az éjszakai helikopterműveletek biztonságát. A szemüveg megfelelő használata lehetővé teszi a látás utáni repülést, képessé teszi a személyzetet, hogy lássák a horizontot és a terepet, azonosítsák a repülésre veszélyes építményeket és objektumokat.

Az éjjellátó szemüvegek viszonylag olcsók, könnyűek, üzemeltetésük és karbantartásuk egyszerű, és rendkívül jól alkalmazhatók az éjszakai műveletek feltételeinek javítására. Mindamellett a szemüveg által létrehozott kép minősége elmarad a nappali viszonyok között, szabad szemmel látott képhez képest, az éjjellátó szemüveggel történő repülés pszichikai és fizikai megterhelést jelent a pilóta számára.

Azok az élettani sajátosságok, melyek az éjszakai sötétség órái alatt jelentkeznek, az éjjellátó szemüvegek korlátaival együtt komoly kockázati tényezőket jelentenek az ilyen jellegű műveletek végrehajtása során. Ezek, a repülés biztonságát veszélyeztető tényezők lehetnek a kimerültség, a stressz, a szem túlerőltetése, a sisak megnövekedett súlya, az erőltetett pásztázási technika és maga a tény, hogy a pilóta a megszokott napi ritmusától eltérően éjjel nem alszik, hanem fizikailag és pszichikailag megterhelő munkát végez. A kockázati tényezők hatása csökkenthető a megfelelő pihenési normák betartatásával, valamint azáltal, hogy megfelelő kiképzéssel elősegítjük időbeni felismerésüket.

Az éjjellátó berendezések által nyújtott előnyöket csak akkor érhetjük el, ha tökéletesen értjük a berendezés korlátait. Fel kell készülnünk a meglévő sisak alkalmazhatóságának, a

repülőeszköz fénytechnikai berendezései kompatibilitásának, megteremtésére, a felmerülő számtalan probléma leküzdésére. Gondosan összeállított tananyagokkal, rendszeres oktatással, a tapasztalatok folyamatos gyűjtésével kell elősegíteni, hogy az üzemeltető műszaki állomány, valamint minden gépszemélyzet tag ismerje a berendezések korlátait, az ilyen jellegű repülések végrehajtásának jellemzőit, és azok szerepét a repülések biztonságos végrehajtásában.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Helicopter Flights with Night Vision Googles (NASA Technical Memorandum 101039)
[2] TC1-204 Night Flight Tecniques and Procedures (Headquarters Departnemt of the Army 1988)
[3] Melanie Todd Civil Aviation Safety Authority - Boyd Falconer University of New South Wales: Civil and military night vision goggle operations: a review of existing research
[4] David C. Foyle - Mary K. Kaiser: Pilot distance estimation with unaided vision, Night-vision goggles and infrared imagery
[5] Robert W. Verona – Clarence E. Rash: Human Factors and Safety Considerations of Night Vision Systems Flight.
[6] Major R. K. Read: Under The Cover of Darkness (1992)
[7] http://www.atncorp.com/hownightvisionworks (2009.09.30.)
[8] www.sulinet.hu/tart/fcikk/Kibc/0/33146/1 (2009.09.30.)
[9] FM 3-04.203 Fundamentals of Flight May 2007 Headquarters, Department of the Army
[10] AD-A247 470 Methods of Visual Scanning with Night Vision Goggles - United States Army Aeromedical Research Laboratory Fort Rucker, Alabama
[11] AD-A211 783 Human Factors and Safety Considerations of Night Vision Systems Flight - United States Army Aeromedical Research Laboratory Fort Rucker, Alabama
[12] http://www.sulypont.hu/nyakfej.html
[13] http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/nightvision2.htm
[14] Nagy János: Éjjellátó eszközök fedélzeti alkalmazásának kompabilitási kérdései
[15] Nagy János: Éjszakai helikopter műveletek végrehajtásának sajátosságai

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. Óvári Gyula – Dr. Szegedi Péter

Alternatív üzemanyagok alkalmazásának lehetőségei a repülésben

Az egymást követő energiaválságok, a fokozódó környezetszennyezés következtében is fenyegető klímaváltozás és a fenntartható (fenntartani kíván)t gazdasági fejlődés energetikai biztosítása elodázhatatlanná teszi olyan új energia hordozók felfedezését, amelyek hosszú távon kitermelhetőek, előállíthatóak, rövid határidővel gazdaságosan bevezethetőek, elterjeszthetőek, nem terhelik a környezetet és lehetőség szerint – lényeges átalakítás nélkül – alkalmasak a jelenleg alkalmazott erőgépeink, hajtóműveink működtetésére is. A fejlesztés folyamatának egyik nagy tanúsága és utólag megfogalmazott alapkövetelménye, hogy kevés az, ha az új energiahordozó felhasználása során környezetbarát, kitermelésének, előállításának is annak kell lennie.

1. BEVEZETÉS

A jelenleg használatos légi járművek hajtóművei szinte kivétel nélkül olyan szénhidrogén alapú folyékony tüzelőanyagokkal működnek, melyek fűtőértéke 42000–44600 kJ/kg. Ez, dugattyúsmotorok esetében (repülő-)benzin, gázturbinás sugárhajtóműveknél kerozin, melyek közül egy–egy, széles körben alkalmazott fajta jellemzői az 1. táblázatból kiolvashatóak. (A Wankel-, illetve a Diesel-motor és a gázolaj, eddig nem hozott átütő sikert.) A bemutatottakon kívül még jó néhány további változat létezik, amik némileg fizikai jellemzőikben és adalékanyagaikban térnek el egymástól.

1. táblázat

Minőségi követelmény	Repülőbenzin 100/130	Kerozin JET A (TSZ-1)
Oktánszám	100	-
Teljesítményszám	130	-
Fűtőérték [kJ/kg]	43540	42914
Lepárlási hőmérséklet [^{0}C]	75-170	165-250
Fagyáspont [^{0}C]	-60	-60
Lobbanáspont [^{0}C]	~7	28

2. táblázat

Tüzelőanyagok megnevezése					
NATO	F-34	F-35	F-40	F-44	F-45
USA	MIL-T -83133 (JP-8)	ASTM **JET A-1**	ASTM JET B	MIL-T-5624G (JP-5)	MIL-T-5624D (JP-4)
ANGLIA	D. Eng. R. D. 2453	D. Eng. R. D. 2494	D. Eng. R. D. 2486	D. Eng. R. D. 2498	D. Eng. R. D. 2486
FRANCIAORSZÁG	AIR3405	AIR3405	AIR3407	AIR3404	AIR3407
KANADA	3-GP-23	3-GP-23	3-GP-22	3-GP-24	3-GP-23
OROSZORSZÁG		***T-1, TSZ-1***	*RTt*	*T-7*	
Alapvető jellemzőik					
Sűrűség (15,56 ^{0}C-on) [g/cm^3] ▪ közepes ▪ maximális	 0,806 0,825	 0,806 0,825	 0,764 0,802	 0,816 0,845	 0,776 0,802
Kinematikai viszkozitás (-34,4 ^{0}C-on) [cSt]	15	15	3	16	2,5
Fagyáspont [^{0}C]	-50	-54	-60	-56	-60
Égéshő [kJ/kg]	42738	42738	42738	42612	42738

A légi járművek elvárt repülésbiztonsági mutatókkal történő hazai és nemzetközi üzemeltetése szükségessé teszi a tüzelőanyagok, előállításának, tárolásának, kezelésének, szállításának, őrzésének szigorú, lehetőleg nemzetközileg egységes szabványosítását. Így, a széles körben használatos repülő tüzelőanyagok - bár nemzeti szabványnak megfelelő megnevezéssel bírhatnak - besorolásuk a nemzetközi előírásoknak megfelelően egységes, így egymással ekvivalensek. A leggyakoribb kerozinok összehasonlítható megnevezése és fontosabb fizikai tulajdonságaik a 2. táblázat segítségével vethetők össze.

Természetesen a hazánkban alkalmazott repülőgépeken alkalmazható hajtó- és kenőanyagok minőségi jellemzőire, beszerzésére, tárolására, felügyeletére, kezelésére vonatkozó szabványok is szorosan tükrözik az EU-ra és/vagy NATO-ra érvényes előírásokat.

A jelenleg Magyarországon, illetve a Magyar Honvédségnél alkalmazott repülőgépekhez használatos benzinek és kerozinok specifikációit, előírásos ellenőrzési és tárolási idő normáit a 3. táblázat foglalja össze.

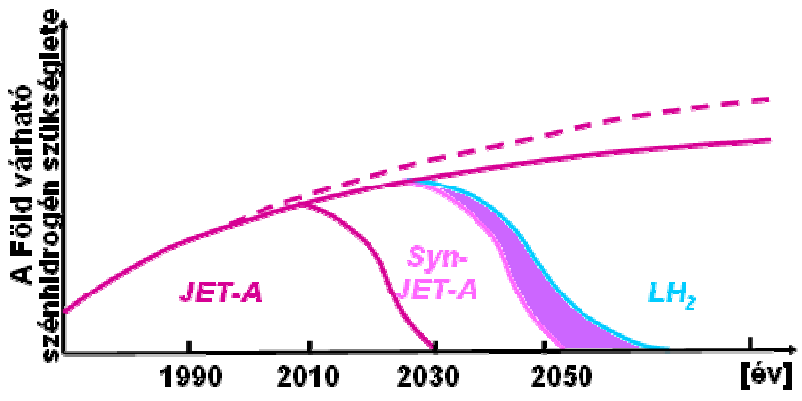
3. táblázat

Üzemanyag fajták	Nyt-i egység	Specifikáció (Szabvány szám)	Ellenőrző vizsgálat (hó)	Teljes vizsgálat (hó)	Tárolási idő (év)
I. Repülőbenzinek					
- B-70	kg	TU 38-101913-82	6	12	4
- RB-80	kg	MSZ 10869-95	6	12	4
- SzB-78	kg	TU 4-60-79	6	12	4
- RB-100 (RB-100LL)	kg	MSZ 10869-95	6	12	4
- B-91/115	kg	GOSZT 1012-72	6	12	4
- Avgas-100LL	kg	DERD-2485	6	12	3
II. Repülőkerozinok					
- JET-A1	kg	MSZ 10870	6	12	5
- RJ-FG	kg	MH	6	12	3
- RT-FG	kg	MH	6	12	3

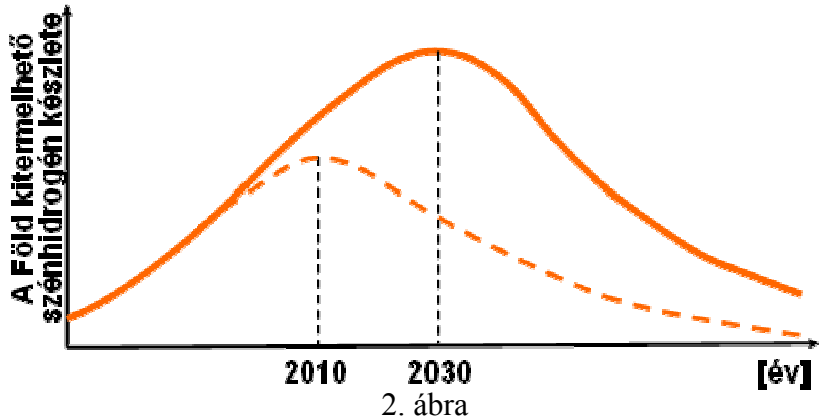
2. A KŐOLAJALAPÚ TŰZELŐANYAGOK KITERMELÉSI, ALKALMAZÁSI PERSPEKTÍVÁI

2.1. A kitermelhetőség lehetőségei, korlátai

A ’70-es évek első energia-árrobbanását követő sokk utáni első higgadt és tudományosan megalapozott elemzések már egyértelműen jelezték, hogy a műszaki fejlődés és növekvő népesség okán folyamatosan növekvő energiaigény (1. ábra) fedezésére, a Föld rendelkezésre álló és kitermelhető folyékony szénhidrogén készletei csak korlátozott ideig elégségesek (2. ábra). Változatokat ugyan lehetséges volt (és lehet nap-



1. ábra



2. ábra

jainkban) is kimunkálni a várható igények növekedési üteméről és a kitermelhető mennyiség szükségszerű csökkenésének időpontjáról (az 1.-2. ábrákon szaggatott vonal a pesszimista, folyamatos az optimista változatot jelöli), a trendek sajnálatosan azonban egyáltalán nem vitathatóak.

Megjegyzés: *az 1. ábrán és a továbbiakban L – liquid (ang.) rövidítés, a gáz folyékony (cseppfolyósított) halmazállapotát jelzi.*

A tüzelőanyagok árának folyamatos, drasztikus növekedése, a költség-hatékonyságot fokozatosan, még a katonai repülésben is elsődleges elvárássá tette. Az, hogy a tüzelőanyag-igény növekedés nem vált lineárissá (1. ábra), annak is köszönhető, hogy már pl. a 2. és 3. generációs (közepes hatósugarú, polgári) repülőgépnél is kimutatható a takarékosságra való törekvés (korszerűbb, takarékos hajtóművek /turbófan, propfan stb./ és sárkányok /szuperkritikus szárny, winglet, pontosan meghatározott aerodinamikai formák és csatlakozások stb./ alkalmazása), (ld. 4. táblázat, viszonyított típus a 2. generációs TU-154 M!)

4. táblázat

Jellemző	Típus					
	TU-154M	TU-204	MD-87	B737-300	A-320	Fokker -100
Utasférőhely	*143*	188	125	137	152	102
Hatótávolság (km) max. utaslétszámmal	*3700*	3500	3700	3420	3240	1800
Átlagfogyasztás; (kg / óra)	*5400*	3600	2728	2250	1960	1860
Egy utasra jutó üza fogyasztás [kg/óra/ utas]	*37,7*	19,14	21,2	16,42	12,89	18,23

A hadseregnél is markáns programok hivatottak elősegíteni a tüzelőanyag megtakarítást. Például az ’50-es évek első felében, rendszerbe állított, 2030÷2035-ig hadrendben tartani kívánt B-52-es bombázó repülőgép ‚H’ változatának bevezetése, csak az új hajtóművek és digitalizált vezérlésük (FADEC) beépítésének következtében úgy növelte a hatótávolságukat 50 %-kal, hogy közben 25 %-kal csökkentek az üzemeltetés közvetlen költségei. Járulékosan pedig 55 darabra volt csökkenthető a feladatuk ellátáshoz szükséges KC-135R légi utántöltő repülőgéppark állománya, ami önmagában ~6 milliárd USD meg-takarítást eredményez a tervezett kivonásukig hátralévő 25 évben.

Hasonlóan, a naptári üzemidő 2040-ig történő kitolásával, 40 milliárd USD kiadás csökkenést ígér a szállító repülőgép állomány másik fontos típusának, a C-5A Galaxy-nek a teljes avionika, és az elavult TF39-GE-1C hajtóművek ($F_{p,max}$=191,2 kN) korszerű, kisebb fogyasztású, gazdaságosabb üzemű, nagyobb tolóerejűre történő cseréje (CF6-80C2, $F_{p,max}$=222,4 kN).

Mindezek önmagukban is szükségessé tették a fenntartható és fenntartani kívánt gazdasági, műszaki fejlődés, a honvédelem elvárt harckészültségi szintjének biztosítására, a hagyományos kőolajalapú repülőgép tüzelőanyagok fokozatos kiváltását más megbízható, hosszú távon is folyamatos utánpótlást biztosító üzemanyaggal. Meghatározó szempont a folyamatosság, hiszen a Földünkön rendelkezésre álló, változatos korú légijármű parkjának

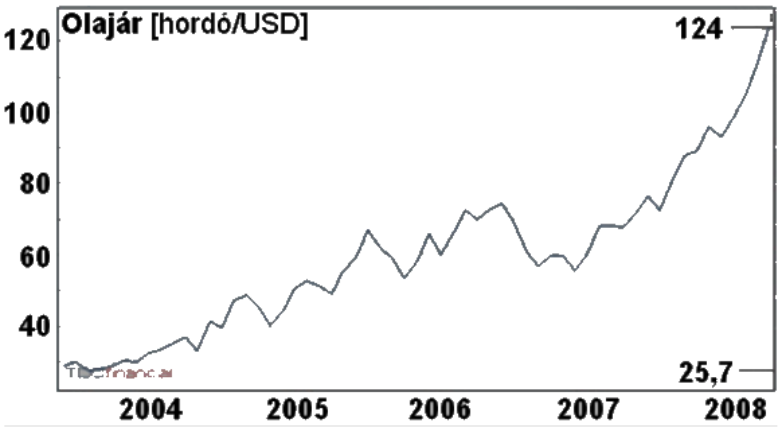
legújabb, legkorszerűbb - és ezáltal legdrágább - példányai csak most kezdik 30-50 év időtartamra tervezett szolgálatukat. Ezért számukra (is) elengedhetetlen megtalálni az üzemeltetés gazdaságos módját (ld. 1. ábra, szintetikus és/vagy a jelenlegi sárkány-hajtómű konfigurációhoz is alkalmazható alternatív üzemanyagok!) tervezett üzemidejük végéig.

2.2. Az üzemanyagok árképzési nehézségei

Tovább bonyolítja, egyben sürgeti is a megnyugtató megoldás mielőbbi kimunkálását, hogy - a várakozásokkal ellentétben - a rendelkezésre álló nyersolaj készletek és azok időarányos kitermelhetőségének, a szükségletek változása reális trendjének (1.és 2, ábrák) pontos ismerete sem elég, a várható árak alakulásának közel megbízható prognosztizálásához. A kitermelhető mennyisége, a tényleges hosszú távú átlagos szükségletek és a beszerzési árak között viszonylag alacsony a korreláció. Márpedig az üzemanyag (energia) kiszámítható, megfizethető ára a világ-, és ezen keresztül a nemzetgazdaságok állapotát, közérzetet, életszínvonalat, háborút és/vagy békét határoz meg.

Tapasztalatok szerint az árképzést, a hosszú távú, egyenletes fogyasztás növekedés alapján prognosztizált növekedési trendjeit, időszakosan drasztikusan módosíthatják:

- a piaci viszonyok, ennek szerves részeként, nem elhanyagolható mértékben a spekuláció;
- utóbbival szoros összefüggésben a nemzetközi válsággócokban, különösen a közel-keleti olaj-övezetekben, rendszerint az USA részvételével vívott helyi háborúk és ezek nyomán katonai szükségletek jelentős növekedése, esetlegesen egyes olajbányászati övezetek termelésből, szállításból történő időleges kiválása, kiiktatása;
- különösen az ezredfordulót követően, az újonnan viharos ipari, gazdasági fejlődésnek indult ázsiai hatalmak (Kína, India) rohamosan növekvő energia igényei nyomán kibővült a kereslet. Mindezek együttesen, 1-2 év alatt 100÷400 %-os üzemanyagár ingadozást eredményezhetnek (3. ábra).



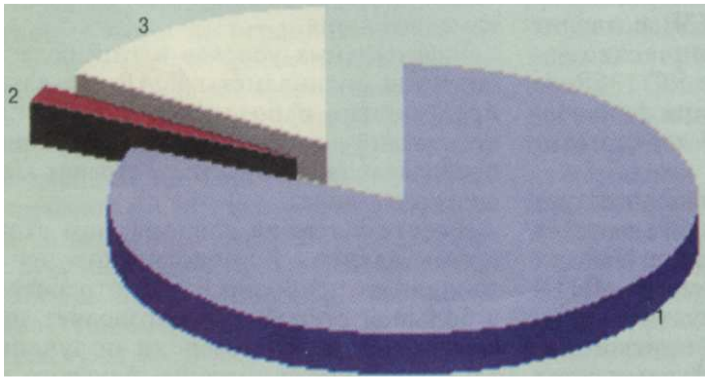
3. ábra

Ugyancsak a fenti okokra vezethető vissza az is, hogy az üzemanyagok termikus krakkolással történő előállítása kiinduló anyagaként szolgáló nyersolaj magasabb szinten (drágábban) előállított származékainak (pl. benzin) beszerzési árát időlegesen meghalad-hatja az alacsonyabb szinten feldolgozottét (pl. gázolaj).

2.3. Az USA katonai szükségleteinek hatása a repülőgépüzemanyag-árakra

A csak repülőgép tüzelőanyagból átlagosan évi 20 milliárd liter beszállítást igénylő, folyamatosan magas harckészültségű USA hadsereg szükségletei, világviszonylatban is alapvetően befolyásolják az üzemanyag árakat. Elemzések szerint 1 barrel (~163,5 liter) kőolaj árának 10 USD-os emelkedése a PENTAGON éves kiadásait 600 millió dollárral növeli. Egyebek mellett, a folyamatos közel-keleti katonai jelenlét miatt is - változatlan struktúrában (4. ábra) – de 2008-ra, napi 10 millió literre növekedett repülő-tüzelőanyag

felhasználás. A mennyiségi növekedés és az általa generált árfelhajtó hatása következtében, az amerikai hadsereg éves hajtó- és kenőanyag költségei az alábbiak szerint változtak:

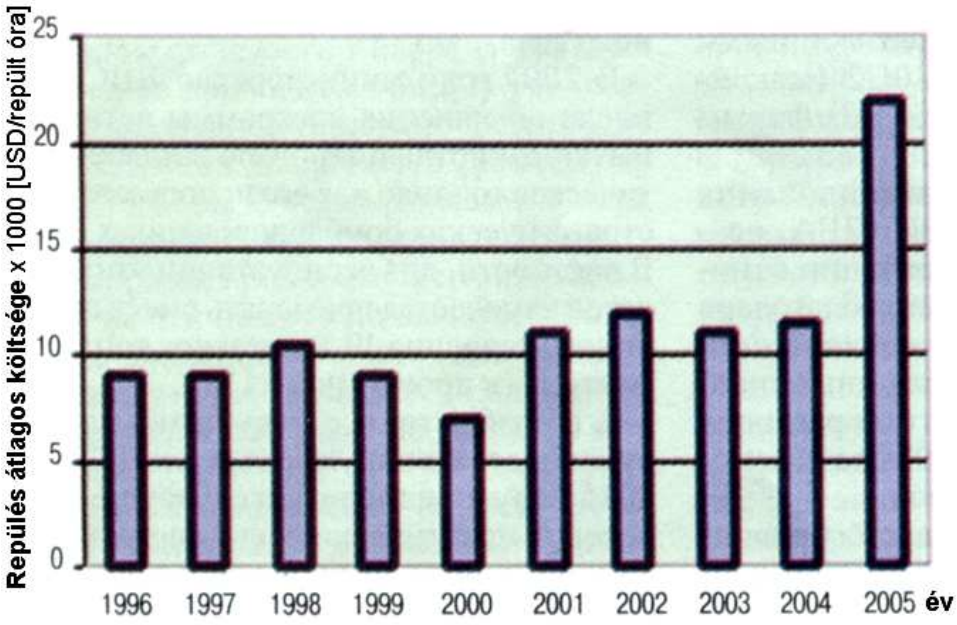


- 2004-ben 6,7 millió USD;
- 2005-ben 8,8 millió USD;
- 2006-ban 11,2 millió USD.

1 – légijárművek (82 %); 2 – földi kiszolgáló eszközök (2 %); 3 – infrastrukturális eszközök (16 %);

4. ábra

Mindezek ebben az időszakban, egy repült óra átlagos költségeit – az éppen aktuális katonai, politikai helyzet befolyásolta, némileg hullámzó jelleggel, de – egyértelműen a növekedés irányába módosították (5. ábra).



5. ábra

2.4. Környezetkárosító hatások

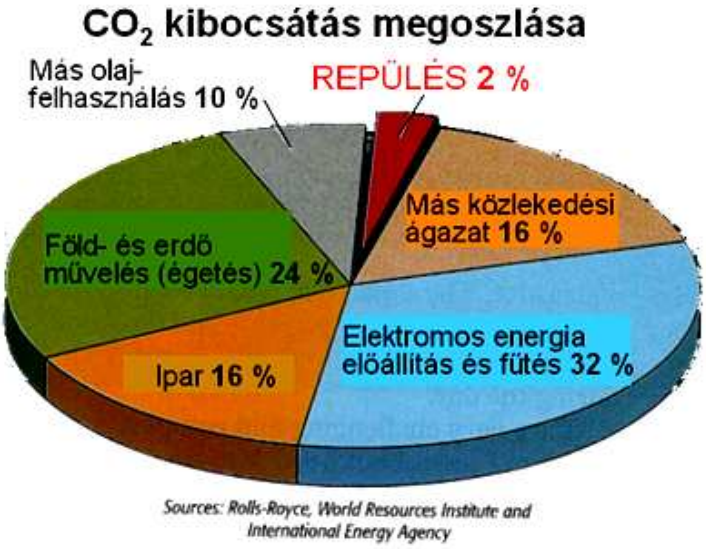
A XX. század második felére - a vonatkozó kutatások eredményeként is - ugrásszerűen megerősödött és megkerülhetetlenné vált a környezettudatos szemléletmód. A várakozásokkal ellentétben 2006-ról 2007-re globálisan három százalékkal emelkedett a fölmelegedést okozó széndioxid-kibocsátás. Az emberiség történetében soha nem tapasztalt mértékű, 9,34 milliárd tonnányi volt a főképp az ipari tevékenységekből, a közlekedésből és az erdőirtásból eredő globális széndioxid-kibocsátás (a Global Carbon Projekt nevű, klímakutató intézet adatai alapján). 2006-hoz képest ez körülbelül 3%-os emelkedést jelent, a szén-dioxid légköri koncentrációja elérte a 383 ppm-es értéket (a levegő minden egymillió molekulájából 383 széndioxid-molekula). 2000 és 2005 között a kibocsátás összesen 3,2%-kal emelkedett, míg az előző évtizedben (1990-től 1999-ig) 0,8%-kal. Az emelkedést javarészben fejlődő országok produkálták, elsősorban Kína, amely megközelítőleg a globális emelkedés feléért felelős. (Az 1,3 milliárd lakosú ázsiai ország 2 milliárd tonna szénszennyezést produkált 2007-ben, ami 7,5 százalékkal több az előző évinél. Kína 2006-ban "előzte meg" a korábban a szennyezők

első helyét elfoglaló Egyesült Államokat, amely 2007-ben ismét a második legnagyobb kibocsátó lett 1,75 milliárd tonnával. Az USA 2007-ben a korábbi évnél közel 2 százalékkal nagyobb mértékben járult hozzá a globális légszennyezéshez, miután 2006-ban sikerült csökkentenie kibocsátását. A harmadik helyen India áll, majd Oroszország következik.)

Megjegyzés:

A kibocsátás fő forrásai továbbra is az ipar és a közlekedés, de becslések szerint a közel 10 milliárd tonnányi éves szénkibocsátás 25%-a változó földhasználatból ered (6. ábra), ami főleg a trópusi erdők égetéses kiirtását jelenti. Ráadásul az erdők és óceánok is mind kevesebb szén-dioxid megkötésére képesek, így ha az emelkedés a jelenlegi ütemben folytatódik, a jövőben a kutatók által felvázolt legszélsőségesebb hőmérsékletemelkedéssel kell szembenéznünk. Az IPCC két éve, az elmúlt évben mért adatoknál jóval enyhébb kibocsátás-növekedéssel számolva 2,4÷6,3 ^{0}C-os átlagos globális hőmérsékletemelkedést vázolt a század végére. Az IPCC hosszú távú tendenciákat vázol föl, amelyekhez a gazdaságkutatók előrejelzéseit veszi alapul, a 2007-es év esetén ezek a gazdasági várakozások bizonyultak tévesnek. Akárhol is hibáztak a szakemberek, ez mit sem változtat a tényeken, amelyek azt mutatják, hogy sajnos mindinkább a szélsőséges forgatókönyvek igazolódnak be. Ha a széndioxid-kibocsátás ilyen ütemben folytatódik, akkor hosszú távon, a század végére akár 7-8 fokos globális átlaghőmérséklet-növekedés is bekövetkezhet. Hazánk, földrajzi elhelyezkedése miatt az egyik legveszélyeztetettebb ország Európában, ezért Magyarországot a globális melegedés a 1,5-2-szerese sújthatja.

Így, egyértelművé vált, hogy a légköri szennyezés 2 %-áért felelős repülés (6. ábra) – mely prognózisok szerint, évi 5 %-os légiforgalmi növekedést feltételezve, ~2025-re már elérheti a 3 %-ot – csak olyan korszerűsítésekben, alternatív és/vagy átmeneti tüzelőanyagok alkalmazásában gondolkodhat, amelyek nem terhelik a környezetet, nem járulnak hozzá további széndioxid kibocsátással az üvegházhatás fokozódásához. Mindezek egyszerre jelentenek új impulzust, de egyben további korlátokat, nehézségeket a fejlesztésben.



6. ábra

3. ALTERNATÍV ENERGIAHORDOZÓK

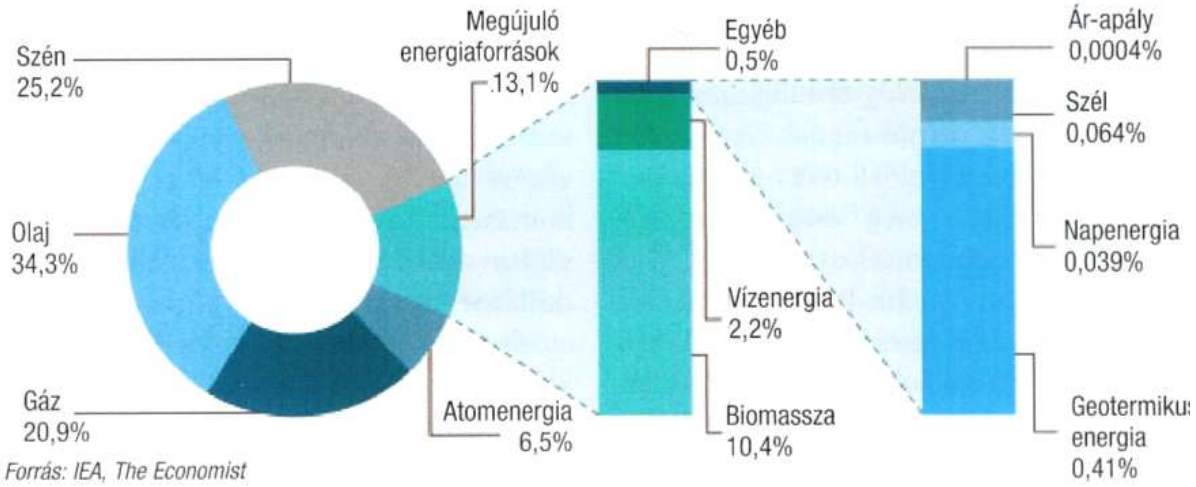
3.1. Alternatív energiaforrások kiválasztásának szempontjai

Az 1., 2. és 7. ábrákon bemutatottakból következik, hogy belátható időn belül elengedhetetlenül szükséges a jelenleg használatos (repülőgép-)üzemanyagok (benzin, kerozin) kiváltása olyan(ok)kal, amely(ek) lehetőleg egyszerre felel(nek) meg az alábbi követelményeknek:

- magas fűtőértékű;
- nem környezetszennyező;

- kémiailag, halmazállapotát tekintve stabil, nem lép reakcióba a fedélzeti tüzelőanyag-rendszer elemeivel, berendezéseivel;
- hosszú időre, megbízható, könnyen kitermelhető és olcsón feldolgozható tartalékok álljanak belőle rendelkezésre;
- kitermelése, feldolgozása, átalakítása sem tartalmazhat nagy energiaigényű és/vagy, környezetet terhelő technológiát;
- alkalmas a repülőgép szükséges berendezéseinek, hajtóműve(inek), légkondicionáló rendszerének és hordfelületeinek (a lamináris áramlási zóna kilépőél irányába történő kitolása érdekében) a kívánt mértékű hűtésére;
- a jelenleg meglévő repülőgéppark és az annak kiszolgálásához szükséges infrastruktúra, lehetőleg változtatás nélkül, vagy minimális átalakítással, korszerűsítéssel legyen alkalmas a vele történő működésre.

A hagyományos fűtőanyagok (szén, kőolaj, földgáz) kiváltására, pótlására, minden hőenergiát hasznosító ipari, közlekedési, háztartási energetikai ágazatban már évtizedek óta, több irányba is folynak a kutatások megújuló energiaforrások feltalálására és alkalmazására (7. ábra).



7. ábra

Ennek aránya, a XXI. század első évtizedére – az atomenergiát is ideszámítva - sem haladta meg a 20 %-ot. Ráadásul a megismertek egy része (víz, szél, árapály, geotermikus) tökéletesen alkalmatlan repülőgépben történő közvetlen hasznosításra, míg a többiek különböző mértékben, módon és kutatásra, fejlesztésre fordított további időigénnyel számításba vehetőek, mint alternatív lehetőségek. Gazdaságossági szempontból meghatározó fontosságú, hogy a néhány éven belül, jelentős mennyiségben alkalmazni kívánt üzemanyagok, vagy üzemanyag kiegészítők csak olyanok lehetnek, melyek a meglévő repülőgépek üzemanyag tartályaiba feltölthetőek, a rendszer elemei azokat továbbítani képesek, a hajtóművek vele, legalább korábbi hatékonyságukkal működnek.

3.2. Biomassza és szintetikus tüzelőanyagok

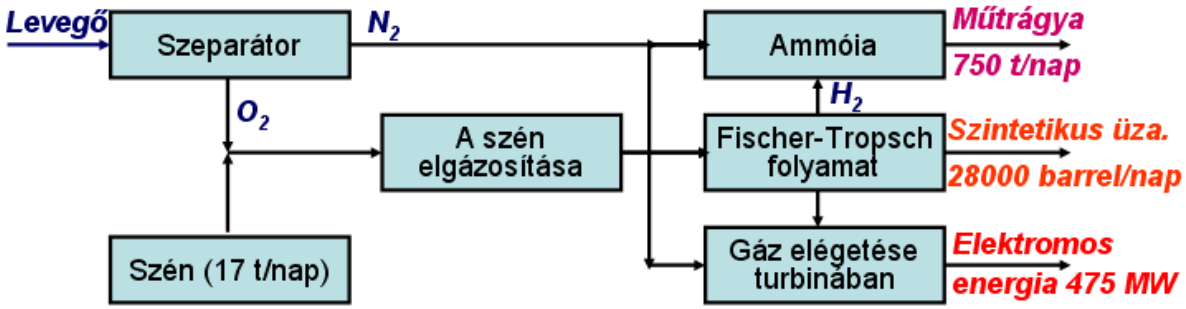
A jelenlegi üzemanyagok kiegészítésére, helyettesítésére – kezdetben legnagyobb ígéretnek tartott - biomasszák alkalmazása kétséges, mivel nagytömegű, hosszú távú termelhetőségük korlátozott és ellentmondásos. Abban szakemberek többsége egyetért, hogy 2030-ig a biomasszából termelt, megújuló energia mennyisége maximum megduplázódhat. A biomassza-termelés haszna döntően az olyan országokban jelentkezhet, ahol sok az erdő.

Megjegyzés:

A biomasszával az az alapvető gond, hogy a növényi fotoszintézis csak ~1 %-os hatásfokkal alakítja át a napenergiát kémiai energiává, ezért az alapanyagul szolgáló növényi kultúra termesztése hamar eléri terjeszkedésének korlátait. Az első generációs bioüzemanyagok kizárólag élelmiszer-növényekből (kukorica, búza, repce, répa, cukornád stb.) készültek. A fejlett országok azzal támogatják előállításukat, hogy többet fizetnek értük, mint amennyit ténylegesen érnek. Így viszont az élelmiszer-termények is drágulnak, akkor is, ha nincs energetikai hasznosításuk, mivel már a termőföld felhasználásáért folyik a harc. A Minnesotai Egyetem kutatásai kimutatták: egy nagy amerikai személygépkocsi 80 liter etanollal való feltöltéséhez megközelítőleg 220 kg kukoricára feldolgozás szükségséges. Ez annyi kalóriát tartalmaz, amennyi egy embernek egy évre elég. Mindez az USA-ban az alapélelmiszerek árának 1 százalékos növelését eredményezi.

Ígéretesebbek a második generációs bioüzemanyagok, amelyeket faanyagból (például faforgácsból, fűrészporból) vagy szalmából nyernének. A lignin, a hemicellulóz és a cellulóz - mint nagyon ellenálló növényi molekulák - jelenléte, azonban számottevő problémákat okoz. E hosszú szénláncokat elemi cukrokra kell(ene) lebontani, amihez kevéssé energiaigényes módszerekre lenne szükség, pl. újfajta enzimek kifejlesztésére, ám ezek az eljárások még nem elérhetőek.Pprognózisok szerint, a második generációs üzemanyagok jelenléte csak 2015-20 között válhat számottevővé, 2030-ig az emberiség legfeljebb 95 Mtoe-t nyerhet évente a biomasszából, illetve a bioüzemanyagból összesen.

A jelenleg alkalmazott légijárművek benzin-, kerozin-felhasználása csökkentésének, időleges, de akár teljes kiváltásának egy lehetséges módszere lehet, az iparilag előállított **szintetikus üzemanyagok** alkalmazása (8. ábra).



8. ábra

A módszer nem új, de az előállítási folyamat tetemes hagyományos energia igényének – ezáltal környezetszennyezésének – csökkentése még mindig jelentős kihívás.

Megjegyzés:

A FISCHER-TROPSCH-féle szintézis során a benzinszerű motorhajtóanyagokat nem ásványolajból, hanem szénből kiindulva állítanak elő. Kiindulási anyaga vízgáz, amelyet izzó szénen vízgőzt átfúvatva nyernek. Ekkor

$$C + H_2O \xrightarrow{1000\,^{\circ}C\text{ felett}} CO + H_2$$

szén-monoxidból és hidrogénből álló gázkeverék keletkezik. Elméletileg ez a vízgáz 50 térfogat % szén-monoxidból és 50 térfogat % hidrogénből áll. A gázelegy hidrogéntartalma növelhető, ha a vízgázt 400-500 ^{o}C-on túlhevített vízgőzzel elegyítve KOH-tartalmú Fe_2O_3-katalizátoron vezetik át. Ekkor a vízgázban levő szén-monoxid a vízgőzzel a következő egyenlet szerint reagál:

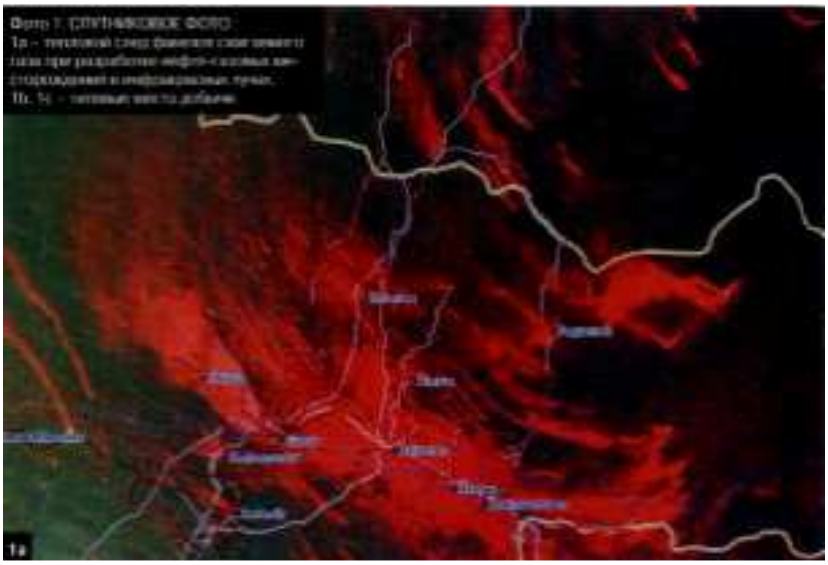
$$CO + H_2O \overset{\text{kat.}}{\longleftrightarrow} CO_2 + H_2.$$

A kapott gázelegyből a szén-dioxidot vízzel nyomás alatt kimossák, és az így nyert hidrogént vízgázzal a kívánt arányban elegyítik. A megfelelő arányú CO : H_2 gázelegyet 10

bar nyomáson, 180 ^{o}C-on olyan katalizátoron vezetik át, amely nikkelt, kobaltot, vasat és nyomokban rezet, mangánt valamint tóriumot is tartalmaz. Így különböző szénhidrogének keveréke keletkezik, amely a paraffin-szinhidrogének mellett telítetlen szénhidrogéneket is tartalmaz. Kedvező, hogy a folyamatból a szintetikus üzemanyag mellett számottevő elektromos energia és mezőgazdaságilag hasznosítható műtrágya is kinyerhető.

3.3. Cseppfolyósított (kriogén) gázok, mint lehetséges repülőgép üzemanyagok

Hosszútávú utánpótlás, kitermelhetőség legnagyobb valószínűséggel a vízből biztosítható, mivel belőle gyakorlatilag korlátlanul kinyerhető a hídrogén. Ezenkívül a kőolaj, valamint földgáz kitermelés során melléktermékként megjelenő un. paraffin-szénhidrogének (minden tagjuk a közös, általános C_nH_{2n+2} képlettel előállítható homológ sor eleme, kémiailag is hasonlóak), közülük az első 5-7 gáznemű, illetve folyékony. Utóbbiakat napjainkig előírások és kimunkált technológia hiányában rendszerint a feltárás helyszínén elégetik.



9. ábra

(Ennek mértékébe nyújt betekintést a 9. ábrán látható, egy nagykiterjedésű orosz szénhidrogén lelőhelyről, az infra-kisugárzás tartományában készített műholdas felvétel.)

Megjegyzés:

1. *A **földgáz** a természetben üledékes kőzetek pórusaiban, repedéseiben cseppfolyós szénhidrogénnel, kőolajjal, vagy anélkül előforduló gáz. Összetétele lelőhelyenként igen különböző lehet. Metánon és a parafin-szénhidrogén sor kisebb molekulasúlyú vegyületein kívül nitrogént, széndioxidot és kénhidrogént is tartalmazhat, néhány amerikai lelőhelyen hélium tartalmút is találtak. A domináló és ezért többnyire értékesíthető komponensek szerint megkülönböztetnek szénhidrogén-, természetes széndioxid- és nitrogén-földgázt. A túlnyomóan szénhidrogéngázból állóak a legértékesebbek és szűkebb értelemben a földgázon is az ilyen gázt értenek.*

2. *A feldolgozás szempontjából megkülönböztethető még száraz és nedves földgáz. Az előbbi metánon kívül (90÷99 %) alig tartalmaz olyan szénhidrogéneket (etán, propán, 1÷9 %), amelyek közönséges hőmérsékleten nyomással könnyen cseppfolyósíthatóak. A nedves gáz metánon kívül etánt, propánt, butánt, pentánt és még nagyobb molekulasúlyú szénhidrogéneket is tartalmazhat. A nedves gázt aktív szenes adszorpcióval, nyomás alatt végzett olajos abszorpcióval, vagy komprimálással és hűtéssel száraz gázra és nyers gazolinra választják szét. Utóbbiból nyomás alatti desztillációval (stabilizálással) állítják elő a háztartási palackozott propán-butánt és a stabilizált gazolint. A gazolin a legkönnyebb benzinféleség, melynek kezdő forráspontja igen alacsony (~35 ^{0}C) és legnagyobb része (75÷80 %) 100 ^{0}C alatt forró párlatokból áll.*

3. *Amennyiben a szénhidrogénekben egy hidrogént egy hidroxilgyökkel helyettesítenek, egyenértékű alkohol keletkezik. A parafin szénhidrogénekből képződő egyenértékű*

alkoholok (általános képletük $C_nH_{2n+1}OH$) sorának első elemei, az etanol és metanol belsőégésű erőgépek önálló, vagy kiegészítő üzemanyagaként is számításba vehetőek.

4. *A kisebb szénatomszámú paraffinok közönséges hőmérsékleten gázok. A pentántól kezdve folyadékok, a heptadekkántól pedig már szilárd, színtelen kristályos anyagok. Olvadás- és forráspontjuk a a szénatomszámmal szabályosan, de egyre csökkenő mértékben nő. /Műszaki Lexikon, AKADÉMIAI KIADÓ 1974, I. kötet 924 p. alapján/*

A repülőgépek (járművek) működtetésére a 6. táblázatban felsorolt gázokat, a tárolás gazdaságossága, a hajtóműbe történő adagolás pontossága miatt cseppfolyósított (kriogén) állapotban célszerű alkalmazni.

6. táblázat

Üzemanyag képlete	**Kerozin JET A**	**Hidrogén H_2**	**Metán CH_4**	**Etán C_2H_6**	**Propán C_3H_8**	**Bután C_4H_{10}**	**Pentán C_5H_{12}**	**Hexán C_6H_{14}**
olvadás [^{0}C]*	< -60	-261,9	-182,5	-183,3	-187,7	-138,3	-129,7	-95,3
forrás [^{0}C]*	136÷227	-252,8	-161,7	-88,6	-42,1	-0,5	36,1	68,7
$\Delta t_{cseppfolyós}$ [^{0}C]*	196÷287	~9	~21	~95	~145	~138	~166	~163
Kritikus jellemzők								
hőmérséklet [^{0}C]	374	-240	-82,6	32,3	96,8	152	196,6	234,7
nyomás [MPa]	2,42	1,3	4,6	4,9	4,3	3,8	3,3	3
Üzemanyag sűrűsége [kg/m^3]								
olvadáskor	775÷785	71,07	424,4	546,4	582	601,5	610,1	664
forráskor	835 (-60 ^{0}C)	77,15	453,4	650,7	733,1	736,4	761,2	756,9
Égéshő (20 ^{0}C-on)* [kJ/kg]								
maximális	46470	135380	56290	51910	50380	49535	49045	48710
minimális	43290	114485	49930	47515	46390	45745	45380	45130

Megjegyzés: *A táblázatban felsorolt gázok közül – rendkívül magas égéshője, és/vagy a hosszú távú, ipari méretekben biztosítható kitermelhetősége miatt – a hidrogén, metán, propán és bután részletes vizsgálatát célszerű elvégezni.*

3.3.1. Hidrogén (H_2)

Az egységnyi tömegéből nyerhető égéshője 2,7-szeresse a kerozinénak, de beláthatóan a többi, 6. táblázatban és 10. ábrán bemutatottét is lényegesen meghaladja. Igen kedvező az égési karakterisztikája is, a láng terjedési sebességét és hőmérséklet megoszlását illetően, valamint egyetlen gáz a felsoroltak közül melynek égéstermékeiből hiányoznak a széngázok (7. táblázat).

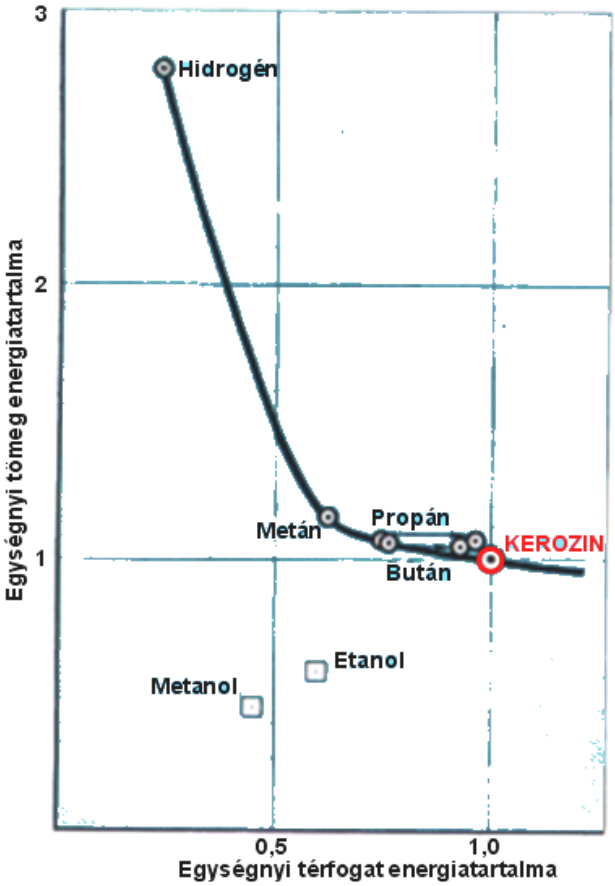
7. táblázat

Égéstermék	**Kerozin**	**LH_2**
Elsődleges égéstermék	CO_2 H_2O	H_2O
Égési melléktermék és az atmoszférával való reakciók termékei	$HC \rightarrow O_3$ $NO_x \rightarrow O_3$ $CO \rightarrow O_3$ $SO_2 \rightarrow H_2SO_4$	$H_2 \rightarrow H_2O$ $NO_x \rightarrow O_3$

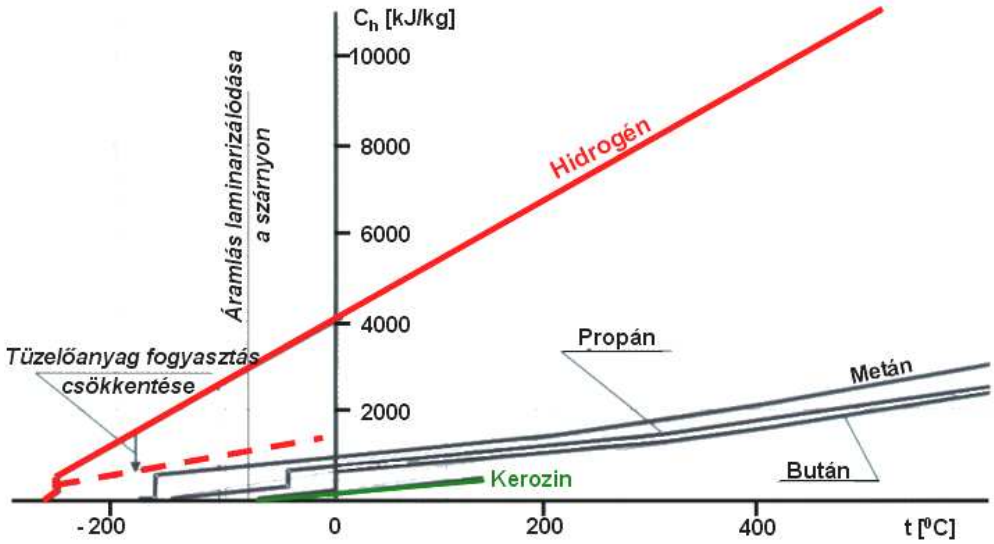
1 kg kerozin elégetésekor 3,16 kg CO_2 (széndioxid) és 1,25 kg H_2O (víz) keletkezik. 1 kg hidrogén elégetésekor 9 kg H_2O jön létre. 0,36 kg hidrogén 1 kg kerozinnak megfelelő energia-tartalommal rendelkezik, ennyi hidrogén elégetése 3,21 kg vizet eredményez.

A cseppfolyós hidrogén égetése sem üvegházhatású CO_2-t, sem a kerozin elégetésekor keletkező más mérgező melléktermékeket hoz létre, kivéve a nitrogén-oxidokat. A hidrogénből azonban 2,6-szor több víz keletkezik, ami nagy magasságokban szintén kedvezőtlenül befolyásolja az üvegházhatást.

Kedvezőtlen viszont, hogy sűrűsége mindössze 1/11÷1/12-e a kerozinénak, így egységnyi, kerozinéval megegyező energia tárolására ~3,7-szeres tartálytérfogat szükséges, melyet számottevően tovább emel a cseppfolyós halmazállapothoz tartozó, rendkívül alacsony hőmérséklet (t<250 ^{0}C) fenntartásához szükséges aktív és passzív hőszigetelő rétegek beépítése. (Ld. még 3.5.1. fejezet!) Valamennyi vizsgált gáz közül az LH_2 - szerkezeti hűtésre, a hordfelületek körüláramlásának javítására, stb. használható - hűtőképessége (C_h) a legnagyobb (11. ábra).



10. ábra



11. ábra

Jelenleg még megoldatlan a cseppfolyós halmazállapota fenntartásához szükséges, alacsony hőmérséklethatárokhoz tartozó (-253)÷(-262) ^{0}C, rendkívül szűk, Δt=9 ^{0}C-s tartományban, a megbízható és gazdaságos tárolásának lehetősége is.

Vélelmezhetően a LH_2 repülőgép üzemanyagként történő rövid távú elterjedését elsődlegesen nem a felsorolt nehézségek, nem is csak a legmagasabb közvetlen - és a szükséges infrastruktúra kiépítése miatt - közvetett költségek akadályozzák, hanem döntően az előállítás módja. A jelenleg ismert két ipari előállítási módszer (vízbontás elektrolízissel, vagy vízgázból, földgázból, bázisok, sók oldatának elektrolízisével) olyan, nagy mennyiségű hagyományos energiát felhasználó folyamat eredménye (pl. szénerőműben termelt villamosságét!), mely a környezetet súlyosan terheli. Emiatt, a cseppfolyósított hidrogén – a 7. táblázatban bemutatottak ellenére - sem tekinthető kémiailag tiszta energiának.

Megjegyzés: *természetesen folyamatosan kutatják, a hidrogén környezetbarát előállításának további lehetőségeit.*

1. *Az ausztráliai Monash Egyetem által vezetett nemzetközi kutatócsoportnak a növényekben található vegyületeket felhasználva sikerült reprodukálnia a fotoszintézis egyik alapvető kémiai folyamatát. Így előkészítették az utat egy olyan új módszerhez, amelyben napfény felhasználásával hidrogénre és oxigénre bonhatói a víz. A továbbiakban olyan rendszert kívánnak létrehozni, amely alkalmas a növényi fotoszintézisben nélkülözhetetlen szerepet játszó mangántartalmú vegyületek "működtetésére", és így laboratóriumban utánozható a természetben napfény hatására lejátszódó elektrontranszport-folyamat. A növényekben ennek során a víz oxigénre és hidrogénre bomlik. Az oxigén fölszabadul és a levegőbe kerül, a hidrogén pedig részt vesz a további fotoszintézisben. Egy mangántartalmú csoport központi szerepet tölt be abban a folyamatban, amelynek révén a növények képesek víz, szén-dioxid és napfény felhasználásával szénhidrátokat és oxigént előállítani. E vegyületcsoport korábban kifejlesztett mesterséges változatával a vizet alkotóelemeire, oxigénre és hidrogénre bontották. Az áttörés akkor következett be, amikor egy Nafion nevű protonvezetővel burkolták be a rendszerben lévő anódot, hogy néhány mikrométer vastag polimer membrán alakuljon ki rajta. Ez szolgált a mangántartalmú csoportok hordozójaként. Amikor sikerült a normális körülmények között vízben nem oldódó katalizátort a Nafion-membrán pórusaihoz kötni, ezzel megakadályozták a vegyületek lebomlását, és egyúttal a víz is eljuthatott a katalizátorhoz, ahol fény hatására oxidálódott. A víz "oxidációjából" protonok és elektronok keletkeznek, amely hidrogéngázzá lehet alakítható. (A növények ezeket, a szénhidrátok előállításához használják fel.) Bár a rendszer hatékonyságát még növelni kell, a kutatók szerint óriási jelentőségű lehet a jövő energiagazdálkodása szempontjából.*
2. *A firenzei egyetemen is új eljárást dolgoztak ki a hidrogén előállítására. Feltételezésük szerint egy speciális magasnyomású lézer és szervetlen gázok kombinációjával ugyanaz az eredmény érhető el, mint a hagyományos elektrolízissel, vagy vígőz metánnal történő bontásával. Mivel úgy az elektrolízis, mint a lézer alkalmazása meglehetősen költséges, a fizikai és kémiai eljárás egyesítésével törekednek költség-hatékony környezetkímélő előállítási technológiát kimunkálni. E folyamatban a vízhez először szén, vagy nitrogénoxidot adagolnak, majd 1000÷5000 bar nyomás alá helyezik. Az így létrejövő reakciót egy 350 nanométeres, UV-közeli hullámhosszon üzemelő sugárzó katalizálja. Ennek hatására a molekulák hidrogén- és hidroxidionokra bomlanak. Az egyensúly beállta közben a hidrogén atomok hidrogén molekulákká egyesülnek. A reakció környezetbarát, mert un. zárvány vegyületek segítségével, CO_2 kibocsátás nélkül valósítható meg.*
3. *További számításba vehető részmegoldás, a "mikrobás tüzelőanyag-cellákkal" történő hidrogén-előállítás. A berendezés működtetéséhez kevesebb energia szükséges, mint a mobiltelefonhoz felhasznált energia 5 százaléka, s olyan biomasszából nyer ki hidrogént, amely nem bontható le természetes úton. A hagyományos, hidrogént termelő*

fermentációhoz szénhidrát alapú biomassza szükséges. A reakcióban a hidrogénen kívül különböző melléktermékek is keletkeznek (például ecetsav és vajsav), amelyeket a baktériumok már nem bontanak le hidrogénné. A kutatók ezért, olyan mikrobás tüzelőanyag-cellát módosítottak a hidrogén előállításához, amelyet korábban szennyvíz tisztítására terveztek. A hidrogéntermeléshez eltávolították az oxigént a rendszerből és egy kevés energiát tápláltak be. 0,25 volttal négyszer annyi hidrogént állítottak elő, mint a hagyományos fermentáció során, és a cella minden biológiai úton lebontható, oldott szerves anyaggal használható. Természetesen nincs annyi hulladék biomassza, hogy a világ teljes hidrogénszükségletét kielégítse, de ez a fajta megújuló energiatermelés úgy csökkentheti a szennyvízkezelés költségeit, hogy a hidrogént energiaforrásként hasznosítsák.

3.3.2. Metán (CH_4)

Alkalmazását az célszerűsíti, hogy a földgáz legnagyobb arányban előforduló komponense (lényegesen meghaladja a propán és bután együttes tömeghányadát). Ugyanakkor gyakorlati felhasználhatóságát ugyanazok a repülőgépszerkezeti, szilárdsági, aerodinamikai, légi- és földi üzemeltetési, valamint az infrastrukturális átállás kimagasló anyagi terhei nehezítik, mint a hidrogén esetében. (Ld. még 3.4. fejezet!).

A metán égéshője ugyan 15 %-kal meghaladja a kerozinét, de még az alacsony hőmérséklet ($t<160\ ^0C$), szűk tartományában ($\Delta t=21\ ^0C$) fenntartható cseppfolyós halmazállapotában is viszonylag kicsi a sűrűsége $\rho_{CH4}=424\div453$ kg/m^3 (v.ö. 6. táblázat !), így a kerozinéval ekvivalens energiamennyiség tárolására 1,5÷1,6-szoros tartálytérfogat kialakítása szükséges. (Az üzemi hőmérsékletet figyelembe véve, a szükséges hőszigetelés beépítése tovább növeli a tartályok, vezetékek és kapcsolódó berendezések tömeg és térfogat hányadát.)

Annak ellenére, hogy égéshője, hűtőképessége meghaladja a propánét, annak nagyobb sűrűsége és a folyékony halmazállapothoz tartozó lényegesen magasabb hőmérsékleti minimum, illetve maximum, valamint a köztük lévő széles üzemi hőmérsékleti tartomány ($\Delta t=145\ ^0C$), tapasztalatok szerint a vele alkotott keverék gyakorlatban egyszerűbben alkalmazható, olcsóbb üzemanyagot alkot, mint tiszta formában (ACKT-M). Az optimális keverési arányok kialakítása még további hosszadalmas kísérleteteket igényel.

3.3.3. Propán (C_3H_8)

Mivel mind a kőolaj gázainak, mind a földgáznak egyaránt jelentős mennyiségű összetevője, de viszonylag nagymennyiségben szabadul fel a különböző kőolaj származékok előállításakor is, gazdaságos, ipari méretű kitermelhetősége még hosszú időre biztosított. A repülőgép-üzemanyagként történő alkalmazáshoz szükséges fontosabb jellemzői a 6. táblázatból olvashatóak ki.

A cseppfolyós halmazállapothoz tartozó szélesebb hőmérséklettartomány és magasabb forrási hőmérséklet ($-42\ ^0C$) nagymértékben leegyszerűsíti a fedélzeti tartályokban és a repülőtéren történő tárolását, illetve szállítását, különösen, ha figyelembe vesszük, hogy 1,6 MPa tartálytúlnyomást alkalmazva már hőszigetelésre sincs szükség cseppfolyós állapotának fenntartására. Az ehhez tartozó – az előző kriogén gázoknál – magasabb sűrűség ($\rho_{C3H8}= 582\div733$ kg/m^3), és az égéshő figyelembe vételével, kerozinéval ekvivalens energia tárolása mindössze 4÷8 %-kal nagyobb tartálytérfogatot igényel. Mindez valószínűsíti, hogy a meglévő repülőgépek szükségszerinti propán üzemanyaggal működőre történő átalakítása, nem lesz különösebben bonyolult és költséges feladat, főként mert ehhez, maga a hajtómű is csak kisebb mértékű módosításokat igényel.

A propán (és bután) gyakorlati alkalmazását az is célszerűsíti, hogy magas a termikus stabilitásuk és sokkal kevésbé agresszívek a szerkezeti-, gumi- és tömítő-anyagokkal szemben, mint a kerozin.

3.3.4. Bután (C_4H_{10})

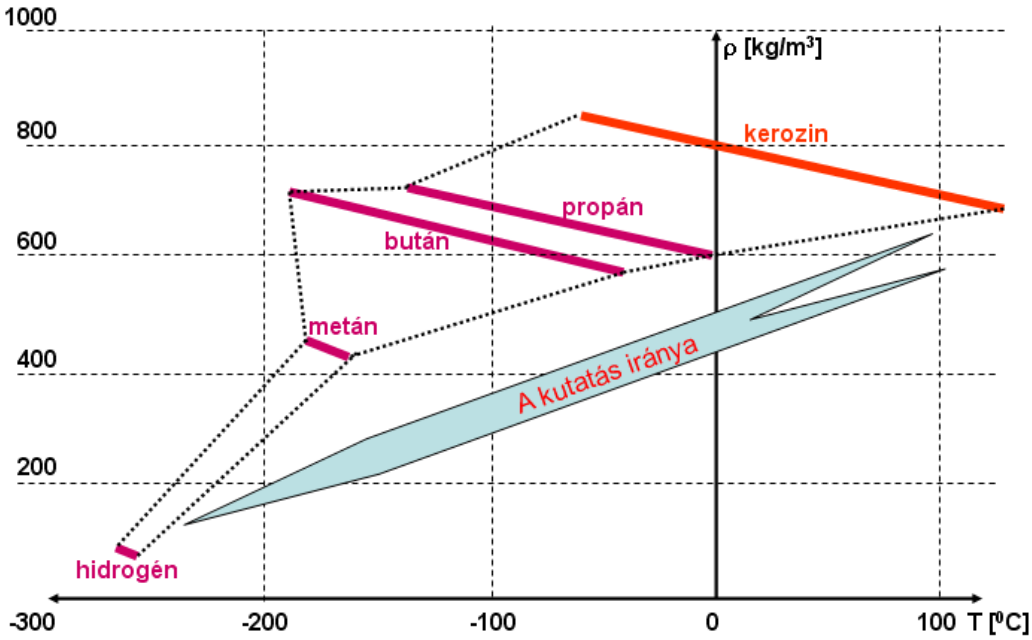
A 6. táblázatban közölt fizikai jellemzői alapján megállapítható, hogy ennek a gáznak a tulajdonságai állnak legközelebb a repülő-benzinéhez, illetve kerozinéhoz, a vele folytatott, előrehaladott repülő-kísérleteknek dokumentáltan, kimutatható eredményei vannak. A gyakorlati alkalmazást nagymértékben segíti, hogy forráspontja sarkkörön túli regionális vonalaknál az év 10 hónapjában lehetővé teszi a zavartalan alkalmazást. Amennyiben 0,5 MPa-os túlnyomást hoznak létre a tartályban forrási hőmérséklete +45 ^{0}C-ra nő, ami járulékos energia felhasználása nélkül is biztosítja a légijármű, jelenleg használatos - akár sík lemezlapokkal határolt - fedélzeti tartályaiban történő korlátlan idejű üzemanyag tárolását, klimatizálási kötöttségek nélkül.

Tapasztalatok szerint:

- javul a felhasználás gazdaságossága, ha nem tiszta formában, hanem propánnal, hexánnal, vagy heptánnal keverve alkalmazzák;
- közepes szállító helikopter, illetve merevszárnyú repülőgép (MI-17, IL-114) bután üzemanyagra történő átállítása esetén, a módosítások következtében a tüzelőanyag-rendszer szerkezeti tömege mindössze 20÷25 kg-mal növekszik.

3.4. A kriogén gázok üzemanyagként történő gyakorlati alkalmazásának lehetőségei

Az előzőekben bemutatott cseppfolyósított gázok fizikai, termodinamikai jellemzői a 6. táblázatból ismerhetőek meg. Ezek közül is döntően az alkalmazhatóság hőmérséklete és termikus intervalluma (12. ábra) alapvetően meghatározzák a kutatás és a várható alkalmazás gazdaságosságát (8. táblázat), ezen keresztül bevezethetőségének idejét, kronológiai sorrendjét.



12. ábra

Az árakat tekintve, a jelenlegi technológiákkal, egységnyi energia tartalmat figyelembe véve, az LH_2 ára 10÷15-szörösse a kerozinénak (8. táblázat), ami – előrejelzések szerint - leghamarabb 2010 után csökkenhet kismértékben, de ~2030-nál előbb nem közelítheti azt.

Valószínűsíthetően, ennek oka sem elsődlegesen a cseppfolyósított hidrogén előállítási költségeinek csökkenése, hanem a kerozin árának számottevő növekedése lesz. Amennyiben e tendenciák reálisak, úgy 2050 után a kriogén gáz ára, kevesebb, mint fele is lehet a jelenleg használatos üzemanyagokénak.

8. táblázat

A fejlesztés időszakai	**4.**	**3.**	**2.**	**1.**
Üzemanyag	**Cseppfolyósított**			**Normál**
	LH_2	**LCH_4**	**LC_3H_8**	**C_4H_{10}**
Viszonylagos költségek (kerozint egységnyinek tekintve)				
Egységnyi hő előállítása	10÷15	1,2÷1,6	0,6÷0,8	0,5÷0,6
Repülőtéri infrastruktúra	>100	~6	2	1,3
Az eredeti sárkányból és rendszereiből az átalakítás után megmaradhat [%]				
- teherviselő elemek	10	50	50	100
- tömítő elemek	0	20	21	100
- hőszigetelés	10	50	50	50
A hajtómű átalakítás szükséges mértéke				
- hajtómű	Új létrehozása szükséges		nagymérvű átalakítás	kisebb módosítás
- üzemanyag tartály	létezik már prototípusa			készen van
- üzemanyag rendszer	létezik prototípusa		átalakítás	kisebb módosítás
Légkondicionáló rendsz.	Kutatások szükségesek		Bizonyított magas hatékonyság	
Földi infrastruktúra	Kutatások szükségesek			Rendelkezésre áll szériában
Ipari előállítás	Új üzem építése szükséges		Létező üzem átalakításával	Megoldott
Gyakorlatban létező üzem-anyag (orosz)	**?**	ACKT-M	ACKT-K	ACKT, ACKT-Б
A fejlesztés feladatai	Szűk, alacsony hőmérséklet-tartományban a cseppfolyós halmazállapot stabil fenntartása		További kísérletek	
			cseppfolyós hal-mazállapotban	gáz halmaz-állapotban

Természetesen, az egyes megoldások bevezethetőségének költségeit - az üzemanyag ipari előállítási árán kívül - a repülőtereken történő tárolás, tisztítás, továbbítás, az oda történő, illetve belső szállítások, a légijárműveken belüli tárolás, ülepítés, szűrés, továbbítás, adagolás, az elégetésre alkalmassá tétel konstrukciós biztosításának anyagi ráfordításai nagymértékben módosítják (gyakorlatilag növelik!). Valójában a hidrogén (metán) tartós tárolására, továbbítására szolgáló tartályok, csővezetékek anyagának megtalálása, létrehozása - a fémes anyagok ezen a tartós hőmérsékleten bekövetkező ridegedése miatt – még számos kihívást tartalmaz a konstruktőrök számára. Hasonló gondot jelent a mozgó alkatrésze – mindenek előtt a nagy nyomáson működő szivattyúk, munkahengerek – kenésének, tömítésének folyamatos, meghibásodás-mentes biztosítása.

Ugyanakkor lényegesen kevesebb technikai kihívást tartalmazó bután és propán üzemanyagként történő felhasználása. Az alkalmazásukkal kapcsolatos alapkutatások döntő többsége, sőt az összehasonlító tesztrepülések egy része is megtörtént. Ennek eszközéül a MI-8MT helikoptert használták (13. ábra).

Az összehasonlító tesztrepülések eredményeit a 9. táblázat tartalmazza. A külső függesztésű, két darab 1800 literes gáztartály miatt megnövekedett homlokellenállás a helikopter teljes légellenállását 3%-kal, üres tömegét 160 kg-mal növelte, hasznos terhelhetőségét 55 kg-mal csökkentette, ami G_{haszn} = 1550 kg = const összehasonlító terhelés esetén 35 km-rel (~5,5 %-kal) kisebb hatótávolságot eredményezett.

13. ábra

A gáz, kerozinét meghaladó hőfejlesztő képessége miatt a MI-8MTG óránkénti és kilométerenkénti üzemanyag-fogyasztása is egyaránt ~2 %-kal csökkent (N° 5. és 6.). Ennek is következménye, hogy a MI-8MTG, 1800 literes gáztartályok miatt 738 km-re növekedett hatótávolságát a kerozinnal működő helikopter csak 260 kg plusz üzemanyag, felvételével képes elérni (ld. 7. oszlop)

A helikopterekkel folytatott komplex kísérleti repülések eredményei alapján a gáz üzemanyagra állítottak át néhány IL-114-es, belföldi, regionális légiszállításban használt merevszárnyú repülőgépet is (14. ábra). A tesztek együttes tapasztalatai egyértelműen igazolták, hogy ebben a kategóriában a propán (-bután-stb.) gáz-üzemanyag keverék(ek)re történő áttérés nem rontja a légijárművek gazdaságossági- hatékonysági jellemzőit.

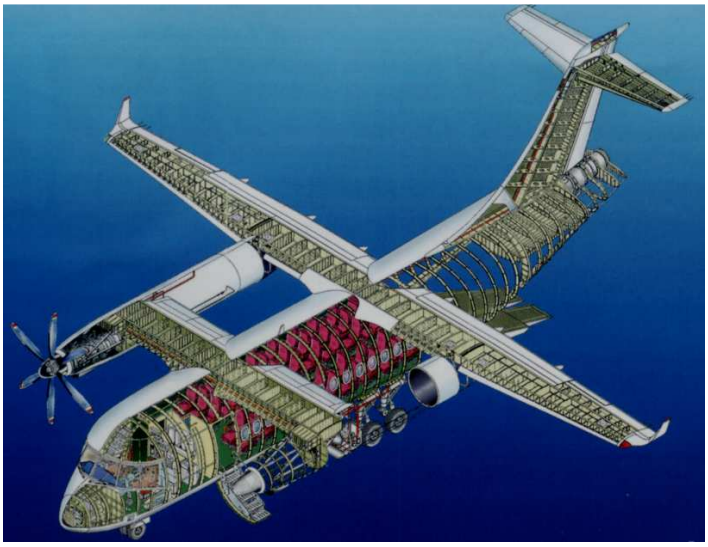
14. ábra

9. táblázat

N°	Vizsgált jellemző	MI-8MT bázis	MI-8MTG gáz üzemanyaggal			MI-8MT +260 kg kerozinnal
			L=const (640 km)	G_{terh}=const (1550 kg)	teljes feltöltés	
1.	$m_{norm,\ felszálló}$ [kg]	11100	11130	111130	**11130**	11100
2.	$m_{üres}$ [kg]	7523	7683	7683	**7683**	7623
3.	müza, felszálló [kg] - kifogyasztó tartály: - főtartály: - póttartály:	2027 345 1682 -	1988 345 1643 -	1897 345 1552 -	**2241** **345** **1896** **-**	2287 345 1682 260
4.	Üza. fogyasztás [kg] H=const esetén	1682	1651	1560	**1904**	1941
5.	Óránkénti üzemanyag fogyasztás [kg/ó]	605	593	593	**593**	605
6.	Kilométerenkénti üza. fogyasztás [kg/km]	2,63	2,58	2,58	**2,58**	2,63
7.	Utazó sebesség [km/ó]	230	230	230	**230**	230
8.	$H_{max.\ stat}$ [km]	4	4	4	**4**	4
9.	Hasznos terhelés [kg]	1550	1495	1550	**1206**	1191
10.	Repülési távolság [km]	640	640	605	**738**	738

A kísérletek további eredményeként megkezdték a teljesen gázüzemű TU-156-os légcsavaros-gázturbinás repülőgép tervezését (15. ábra). Oroszországon és a repülőipari

nagyhatalmakon kívül, intenzív kutatás, fejlesztés folyik a közel-keleti olajkitermelő országokban is. Ezeknél természetesen magas prioritást kapott a hagyományos kerozinokkal lehetőleg magas arányban keverhető szintetikus összetevők és cseppfolyósított gázok felfedezésének és előállításának igénye. Ez és a bőséges anyagiak (is) katalitikusan hatottak a kutatások eredményességére. 2009-ben, a Qatar Airways egyik - két, Rolls Royce Trent 556, kétáramú, gázturbinás hajtóművel felszerelt - Airbus A340-600-asa, repülőgépe volt az első kereskedelmi légijármű a világon, mely földgázból előállított üzemanyag keverékkel repült Londontól Doháig. A Shell fejlesztette ki és gyártotta az 50%-ban szintetikus **Gas to Liquids** (GTL) cseppfolyósított gázt, valamint 50%-ban hagyományos olaj-alapú kerozint tartalmazó üzemanyagot. Elégetése során kevesebb kéndioxid és más káros anyag kerül a levegőbe, mint tiszta kerozin elégetésekor, így a levegőt is kevésbé szennyezi.



15. ábra

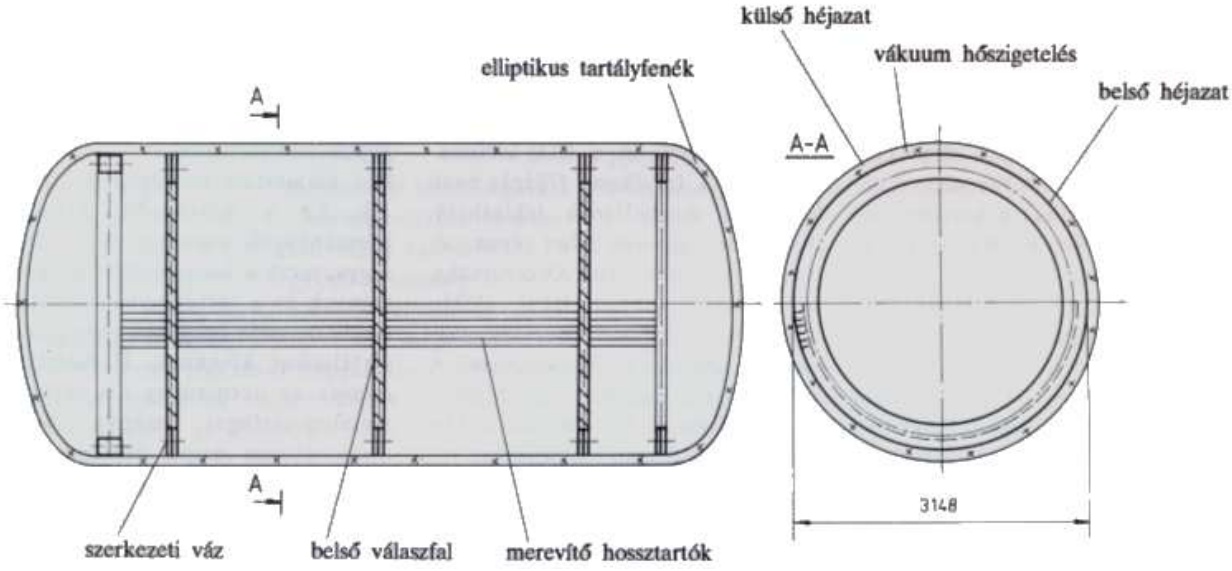
A hagyományos üzemanyag és GTL elegyének új neve **GTL Jet Fuel** lesz. Ez a repülőút volt az utolsó lépcsője annak a több mint két éve zajló tudományos kutatásnak, melyet az Airbus, a Qatar Airways, a Qatar Petroleum, a Qatar Science & Technology Park, a Rolls-Royce, a Shell és a WOQOD konzorciuma folytatott a GTL Jet Fuel használatának előnyeiről a kereskedelmi repülésben. A munka java része a Qatar Science & Technology Parkban folyik Dohában. Az együttműködésnek köszönhetően Katar lehet majd a világ vezető GTL kerozin-előállítója 2012-től: ekkor kezdik meg az üzemanyag kereskedelmi előállítását.

3.5. Alacsony hőmérsékletű kriogén repülő-üzemanyagok hatása a tüzelőanyag rendszer és a sárkányszerkezet kialakítására

3.5.1. Fedélzeti gáztartályok és csövek

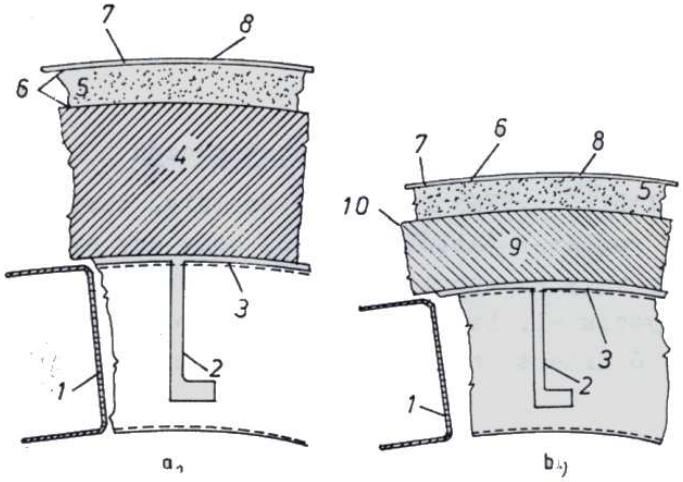
A cseppfolyósított gázok tárolása alacsony hőmérsékleten és/vagy magas nyomáson történik. Így a tárolásra alkalmas *tartály* (16. ábra):

- lényegesen szilárdabb konstrukció szükséges mint a hagyományos kerozin tároló tartályok, a reá ható esetenként jelentős nyomáskülönbségek miatt aminek elviselését az alacsony hőmérsékleteken ($t<100\ ^0C$) bekövetkező szerkezeti anyag ridegedés csak nehezíti;
- nagyobb túlnyomások ($\Delta p>3$ bar) esetén tartályformaként nem alkalmazható - a sárkány szabad belső tereit optimálisan kitöltő – bonyolult térbeli alakzat, csak gömb, vagy henger jöhet számításba;
- a folyékony gáz alacsony hőmérsékletének fenntartására vastag hőszigetelő réteg(ek)kel kell bevonni, illetve párolgásának (térfogat növekedésének) megakadályozására többnyire aktív hőszigetelést is szükséges alkalmazni. Utóbbiak működtetése rendszerint járulékos energia felhasználást is igényel.

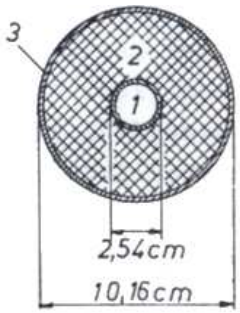


16. ábra

Tapasztalatok szerint kétféle megoldású tartály-hőszigetelés mutatkozik alkalmazhatónak és továbbfejleszthetőnek cseppfolyósított gázok tárolására (17. ábra). Mindkét változatot keretszerkezethez (1) rögzítik, falukat (3) hosszmerevítők (2) erősítik.



17. ábra



18. ábra

A vaskosabb, súlyosabb konstrukciót eredményező megoldásnál (17. a. ábra) a tartály falára széles, zárt pórusú fenoplaszt réteget (4) rögzítenek. Ebben a 0,127 mm vastagságú MAAMF, többrétegű alumíniumszálas szövetrétegek (6) között hajlékony, porózus fenoplaszt (5) található, amit réteges kompozitból (kevlarból) (7) készült bevonat fed. Ezt viszont már a törzs borítása (8) követi. A hőszigetelés hatásfokának javítására a porózus hőszigetelő rétegbe N_2 gázt vezetnek (amiből, számítások szerint 9000 km megtételéhez 90 kg felhasználása szükséges!).

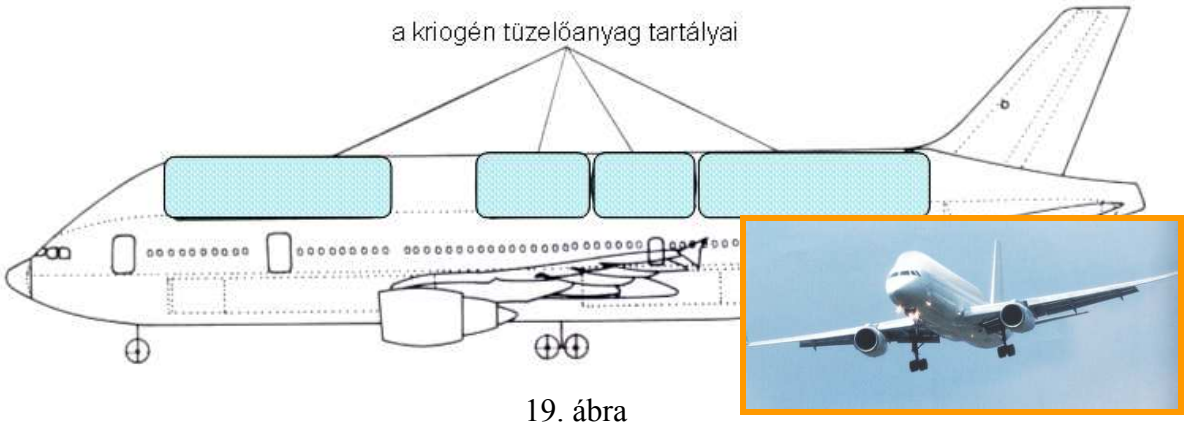
A drágább, könnyebb és vékonyabb kialakításnál (-28 mm) (17 b. ábra) hőszigetelőként vákuumot (9) ($p \approx 13$ Pa) alkalmaznak, melyet vákuum-szivattyú tart fenn. A vákuumteret a N_2-vel hűtött, hajlékony fenoplaszt rétegből (5) a 0,127 mm vastagságú bor-szilikát zóna (10) választja el. (A számozás és funkció azonos a két ábrán).

Számottevően megnöveli az *üzemanyagcsövek* (18. ábra) súlyát és szükséges térfogatot, amennyiben cseppfolyósított gázokat szállítanak bennük. Például a cseppfolyós H_2 továbbítására szolgáló 2,54 cm átmérőjű 0,4 mm falvastagságú csövet (1) olyan vastag alumíniumborítású (3) fenoplaszt (2) szigetelő réteggel vonják be, hogy átmérőjét négyszeresére (10,16 cm), így keresztmetszetének felületét tizenhatszorosára növeli.

Mivel az alacsony hőmérsékleten cseppfolyósított gázok többségének sűrűsége alig fele, a hidrogén esetében mindössze 1/11÷1/12 része a kerozinokénak, ezért, ekvivalens energia-mennyiség tárolására, - figyelembe véve magasabb égéshőjüket is - a számítások eredményei azt mutatják, hogy:

- az ilyen repülőgépek szárnya – a vastag hőszigetelő réteg szükségessége és az aerodinamikai követelmények miatt - nem vehető figyelembe a tüzelőanyag tárolására;
- csak a törzsben alakíthatóak ki tüzelőanyag tartályok. Az ekvivalens energia-mennyiséget biztosító térfogata - a hőszigetelés térfogatigényét is figyelembe véve, pl. LH_2-nél - 3,8÷4,2-szerese a kerozinénak. Ezek, nagyobb nyomás esetén - szilárdsági megfontolásból - csak hengeresek, vagy gömb alakúak lehetnek. Így, magas, széles törzsű sárkányok kialakítása szükséges (19. ábra).

Az ábrán egy ismert, jelenleg is széles körben használatos, korszerű közforgalmú utasszállító repülőgép gázzal üzemelő változatának kontúrrajza, illetve a tervezett „gázos" TU-204-es látható, utastér felett elhelyezett gáztartályokkal. Mivel az utastér alatti törzstérfogatot a poggyász- és teherszállításra szolgál, így a gáztartályok csak a törzs felső, járulékosa megnagyobbított részébe építhetőek be.



19. ábra

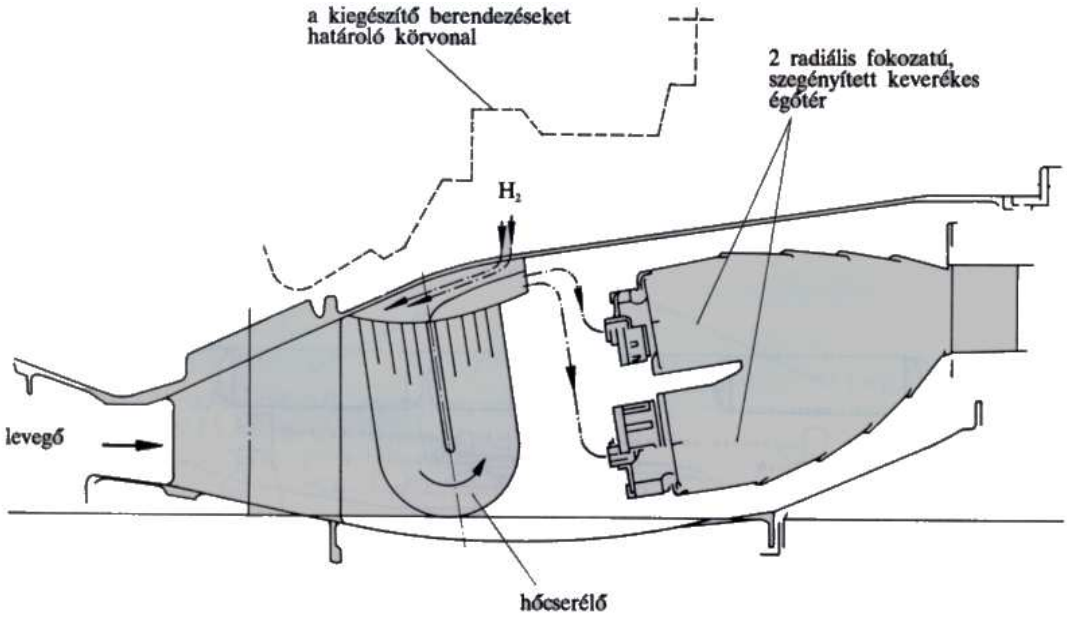
Az üzemeltetés során további lényeges különbség, hogy e a gázok nagyrésze (pl. LH_2, LCH_4) – külön energia betáplálása nélkül - cseppfolyós állapotban, a repülést követően nem maradhatnak a tartályokban.

3.5.2. Hajtóművek

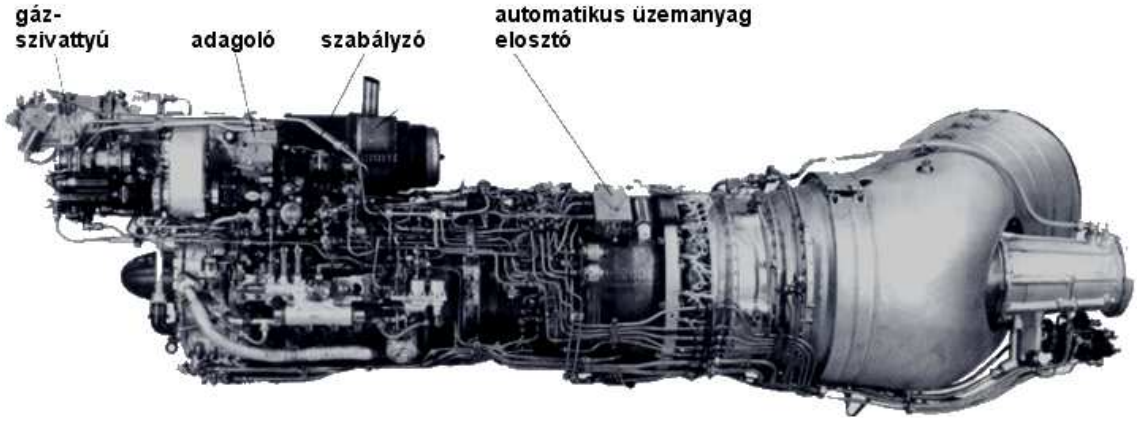
A jelenleg ismert gázturbinás hajtóművek működési elve megfelel, a gázneművé visszamelegített tüzelőanyagokkal történő működtetésre. Gyakorlatilag a teljes hajtómű-elrendezés változatlan maradhat (20. ábra), de az égőteret teljesen át kell alakítani a hidrogén (metán) előnyös tulajdonságainak hasznosítására. Az alapvető konstrukciós törekvés a nitrogénoxidok kibocsátásának csökkentése.

Az égőtér a kerozin-üzeműhöz képest jelentősen megrövidíthető, ami lehetővé teszi a járulékosan szükségesé váló hőcserélő beépítését, ami azután visszaalakítja a cseppfolyós hidrogént (metánt) gázzá az égőtérbe történő betáplálás előtt. A szükséges üzemanyag-mennyiség pontos szabályozása viszont még néhány megoldandó kérdést felvet.

Az alacsony hőmérsékletű cseppfolyós gázokkal jól hűthetők az olajrendszer, a légkondicionáló rendszer, a turbinalapátok, a sárkány egyes elemei, miközben az égőtérbe táplált üzemanyag is előmelegíthető.



20. ábra

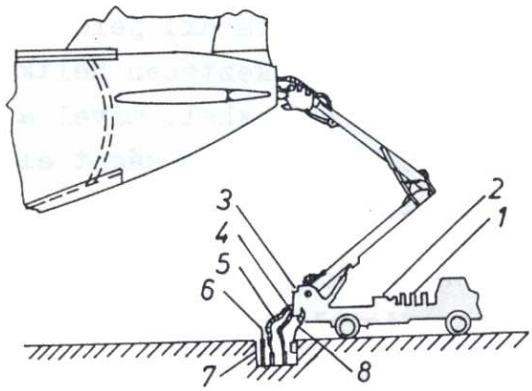


21. ábra

Jól láthatóan, a lényegesen magasabb üzemi hőmérsékletű propán-bután üzemanyaggal működő TV-3 hajtómű (21. ábra) szerkezeti kialakítása a kerozin üzeműhöz képest, érdemben nem változott.

3.6. A repülőtéri kiszolgálás eszközei és az infrastruktúra

A cseppfolyósított gázokkal üzemelő légijárművek tüzelőanyaggal történő feltöltése (leszívása) különbözik a benzinnel és kerozinnal üzemelő rendszerekétől (23. ábra). A töltő–leszívó berendezés hermetikusan és hőszigetelten csatlako-zik a repülőgép farokrészhez. A gépjármű (3), a földalatti tápcsatornában (7) levő vezetékek (4; 5; 6) és a repülőgép töltőcsonkja összekapcsolására szolgál. Ezt megelőzően, a gépkocsi saját semleges gázrendszeréből (1) héliummal átfúvatja az összekötő csöveket és csatlakozókat a repülőgép tüzelőanyag-rendszerébe a levegő, O_2 tartalma bekerülésének meg-akadályozására. (Üres tartályok feltöltése ugyancsak a teljes rendszer héliummal történő át-fúvatásával kezdődik).



22. ábra

Amennyiben a repülőgép hosszabb ideig tartózkodik az állóhelyen, a cseppfolyós H_2 gyors felmelegedésének meg-akadályozására vákuum-szivattyúval (2) a gázneművé vált felmelegedett hidrogént elszívják és helyére a tartályok folyadék feletti terébe hűtöttet (5) vezetnek. Amikor a feltöltött gép nincs a repülőtéri táprendszerre csatolva, a tüzelőanyag-rendszer biztosító szelepei lehetővé teszik a felmelegedett, gáz-halmazállapotúvá vált H_2 távozását a szabadba.

A hidrogén tárolása is új technológiákat igényel, tárolható például kriogén folyadéktartályokban, nagy nyomású gázként vagy szilárd formában. Szállítására vezetékrendszerek már épültek Észak-Amerikában, Belgiumban és Hollandiában, de még gondot okoz, hogy az anyagok szerkezete ridegebbé válik tőle, elvesztik szívósságukat, valamint meg kell oldani, hogy a hidrogén ne diffundáljon el belőlük. Közúton és vasúton is szállítható. A hidrogén üzemanyaggal működő járművekhez speciális üzemanyagtöltő állomásokat kell létesíteni, ami komplikált műszaki rendszert jelent - erre irányult az Európai Unió FP6-os (Framework Program) egyik kezdeményezése.

A propán, bután repülőtéri tárolása, szállítása, szivattyúzása nem jelent különösebb technikai kihívást (23. és 24. ábra)

23. ábra

24. ábra

4. AZ ATOMENERGIÁVAL MŰKÖDŐ REPÜLŐGÉPEK LÉTREHOZÁSA

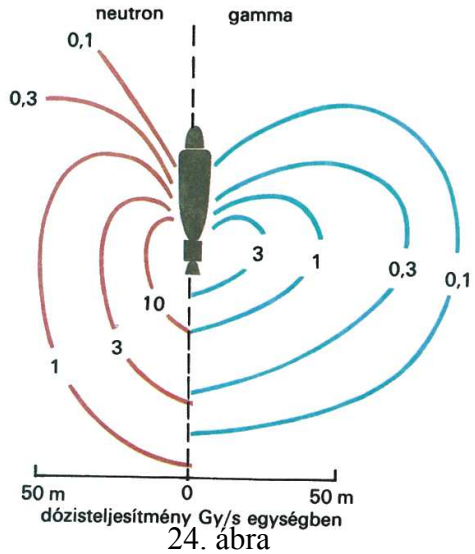
Gyakorlatilag az ’50-es években megjelent az igény a nukleáris energia repülőgép üzem-anyagként történő hasznosítására. A számításba vett urán 233-as, 235-ös, a plutónium 239-es izotópjának alkalmazásával, egységnyi tömegből milliószor nagyobb energia szabadítható fel, mint bármely más tüzelő-anyagból. Környezetvédelmi és biztonsági szempontból azonban ennek napjainkig sincs reális perspektívája.

Bármilyen működési elvű nukleáris hajtóművet alkalmaznak, minden körülmények között gondoskodni szükséges a földi és hajózó személyzet sugárvédelméről. Például a 24. ábrán látható hajtóműtől 50 méterre, külön védelem nélkül, néhány másodpercen belül már halálos dózist (5 Gy, korábban 500 rad) lehet kapni.

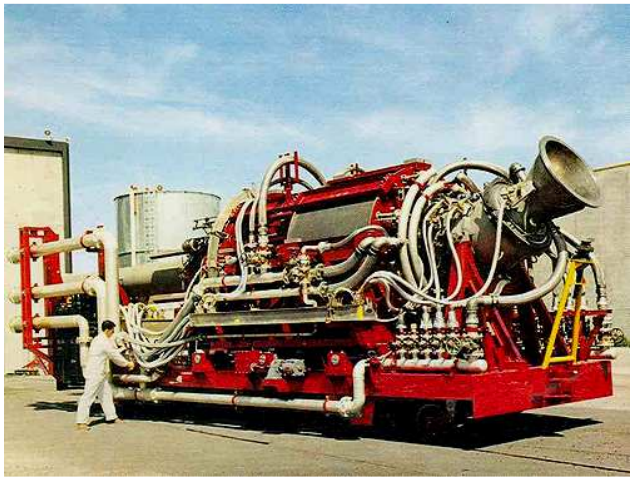
Nagyobb reaktoroknál a káros sugárzás (adott helyen a neutron és a gamma sugárzás összegét) kell figyelembe venni. Ez, rendszerint vastag védőfalak és/vagy a reaktor és utastér egymástól nagy távolságra történő elhelyezését feltételezi. A sugárzás árnyékolására a célszerűen elhelyezett LH hajtóanyag is alkalmas lehet.

A nukleáris meghajtású repülőgép sugárhajtóműve - elképzelések szerint - több mint háromszoros hangsebességű repülést is lehetővé tehetne, gyakorlatilag korlátlan hatótávolsággal. A hajtóművében a beszívott és sűrített levegőt nem kerozin, esetleg egyéb fosszilis, vagy más kémiai tüzelőanyag, hanem egy atomreaktor hevítette volna fel, így hozva

létre a tolóerőt. Egy ilyen, a ’60-as években fejlesztett 500 MW teljesítményű kísérleti reaktor (Tory) látható a 25. ábrán.

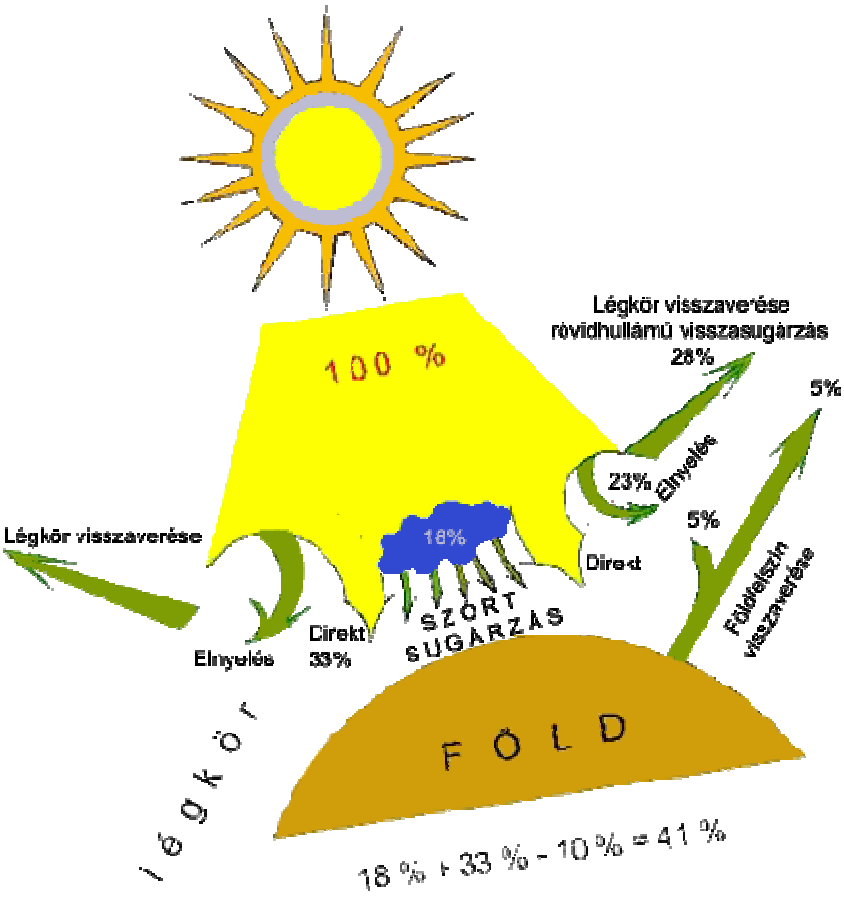


24. ábra


25. ábra

5. NAPENERGIA A REPÜLÉSBEN

A valóban környezetkímélő energiák egyike a napenergia, amely a napban lejátszódó magfúziós folyamatok során felszabaduló energia. Hasznosíthatóságát alapvetően az indokolja, hogy a napból a földfelszínre körülbelül 70÷80 MW/m^2 energia érkezik. Az energia sűrűség a föld atmoszférájának szélén átlagosan 1367 W/m^2. Ez azt jelenti, hogy évenként megközelítőleg 219 milliárd GWh sugárzási energia éri el a földfelszínt, ami 2500-szorosa napjaink teljes energia szükségletének. Hozzávetőleg három óra napsugárzás képes fedezni földünk éves energia szükségletét (26. ábra)



26. ábra

A légkörben jelen lévő vízpára és jég kristályok elnyelésének eredményeképpen a földfelszínt ténylegesen elérő sugárzási energia 1000 W/m^2, sík felszínen, a nap legmagasabb állásában.

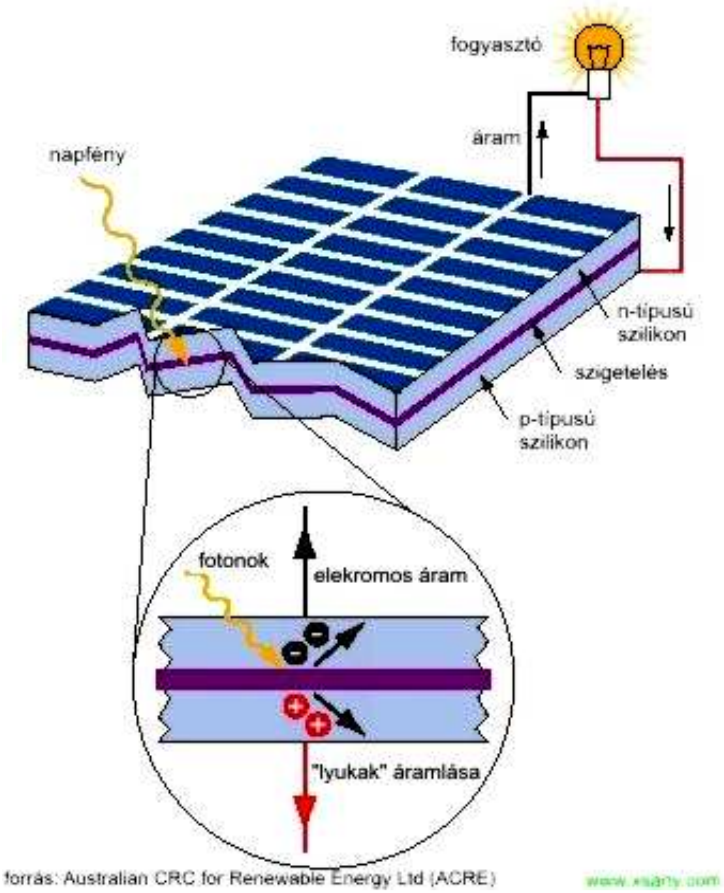
A beeső sugárzási energia a légköri körülmények függvényében 50 W/m^2-től (erősen felhős idő) 1200 W/m^2-ig (optimális felhőzet) változik. Európában a napi átlagos sugárzási energia 2,2 ÷4,8 kWó/m^{2}nap.

Jelenleg hasznosítása elhanyagolható (fejlett ipari országokban is csupán 7 % és v.ö. 7. ábra!), pedig számos kedvező tényező szól mellette:

- mindenki számára könnyen elérhető;
- tiszta, környezetkímélő energiaforrás;
- még évmilliókig rendelkezésre áll;
- kíméli a nyersanyagkészletet;
- kedvezően hat a helyi gazdaságra;
- nem kell szállítani, hozzájutásához nem kell költséges közműhálózat;
- átalakítási, felhasználási költségei minimálisak.

Azok a készülékek, amelyek a napenergiát képesek számunkra hatékony módon hasznosítani a napkollektorok és a napelemek (aktív napenergia hasznosítás). (Közvetett módon a hőszivattyúk is a napenergiát hasznosítja, de ezek a napkollektorral együttesen a repülésben jelenleg hasznosíthatóak).

A cellákból felépülő napelemek működésének alapja (27. ábra), hogy a fénysugárzás fotonjai kimozdítják a félvezető elektronjait a kötéseikből, így elektron-lyuk párok keletkeznek, ezt az elektrontöbbletet pedig elektromos vezetőkkel lehet a napelem felületéről elvezetni a fogyasztókhoz, vagy az akkumulátorokhoz.



27. ábra

Az elektron-lyuk párok szétválasztása három alapvető módon történik:

- azonos félvezetőanyag eltérő szennyezésével kialakított rétegekkel;
- eltérő anyagú félvezető rétegekkel;
- fém és félvezető rétegeivel.

A fotocellák kétféle anyagot tartalmaznak, ezeket p- és n-típusú félvezetőknek nevezik. Bizonyos hullámhosszú fény képes, a félvezető atomjainak ionizációjára, ezáltal a beeső fotonok többlet töltéshordozókat hoznak létre. A pozitív töltéshordozók (lyukak) a p-rétegben, míg a negatív töltéshordozók (elektronok) az n-rétegben lesznek többségben. A két ellentétes

töltésű réteg töltéshordozói - bár vonzzák egymást - csak egy külső áramkörön keresztül áramolva képesek rekombinálódni, a köztük lévő potenciál-lépcső miatt.

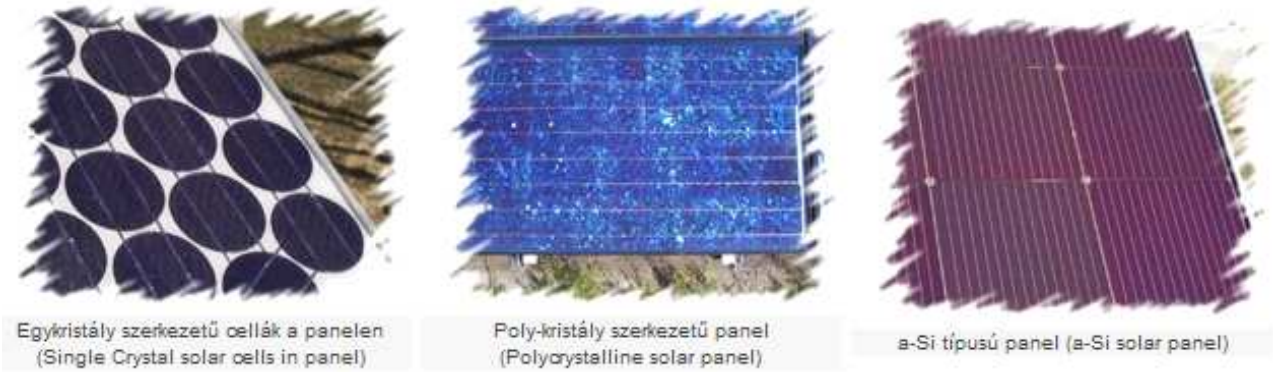
Egy fotoelektromos cella teljesítményét a következők határozzák meg:

- a típusa és mérete a szolár cella anyagának;
- a fény intenzitása;
- a fény hullámhossza.

A szimpla Si kristály alapú szolár cellák például nem képesek a napsugárzás energiájának 25 % -nál többet elektromos árammá alakítani, mivel az infravörös tartományban a fénynek nincs elég energiája, hogy ionizálja a félvezető atomjait. A polikristályos Si szolár cellák hatásfoka ~20 %, az amorf Si celláké ~10 %.

Egy tipikus Si kristály alapú szolár cella 1,5 W / 100 cm^2 teljesítményt ad le (0,5 V DC feszültség és 3 A áramerősség) teljes nyári napsütésnél (1000 W/m^2). A létrehozott teljesítmény közel egyenesen arányos a napsütés intenzitásával. A szolár cellák egyik fontos tulajdonsága, hogy feszültségük nem függ a méretüktől, és a fény intenzitásának változásától, áramerősségük viszont egyenesen arányos ezekkel. Így, a különböző napelemek összehasonlítására a áramerősség/felületegység (A/cm^2) mérőszám ad felvilágosítást.

A paneleket alkotó nap- (vagy szolár-)cellák nem egy egységes technológia termékei, hanem több, hasonló elven kialakított eljárás eredményei (28. ábra).



28. ábra

A szolár cellákat több különböző méretben és formában állítják elő, a felhasználási területüknek megfelelően. A kisebb, bélyeg méretűektől, a néhány 100 milliméteresig. A cellák összekapcsolásával **szolár-modulokhoz** jutunk. Ezekből a modulokból állíthatóak elő a felhasználó számára a szolár rendszerek, amelyek mérete egyebek közt a napsugárzás mennyiségétől, az elhelyezés körülményeitől, a felhasználói igényektől. A napelemes rendszer a szolár cellákon kívül tartalmazza még az elektromos csatlakozásokat, az illesztési eszközöket, teljesítmény szabályozókat, és az akkumulátorokat

PV (photovoltic) panelek

Egy egyszerű cella körülbelül 0,5 V-ot tud előállítani. Ezeket párhuzamosan és/vagy sorba köthetőek, ezáltal nagyobb áramerősséget/feszültséget érhető el. A kapcsolások módja és az összekötött cellák száma alapján az alábbi három kategóriába sorolhatóak a panelek:

- *Alacsony feszültség /kis panelok/:*

3÷12 kisméretű amorf szilicium PV néhány négyzetcentiméter területet foglal. 1,5÷6 V feszültséget képes előállítani és néhány milliwatt a teljesítménye. Jellemzője a kis méret és a nagy szériaszám. Általában kisebb készülékek, pl. számológépek, órák és fényképezőgépek árammal való ellátására szolgálnak.

- *Kis panelok 1÷10 Watt teljesítménnyel:*

Feszültségük 3÷12 V, méretük 100÷1000 cm^2-ig terjed. A cellák általában 100 cm^2-esek, jellemzően egy- vagy pollikristály szerkezetűek, esetenként amorf szilikon-panelekből is felépülhetnek. Általában rádiók, játékok és kisebb szivattyúk táplálására, vagy akkumlátorok töltésére alkalmasak.

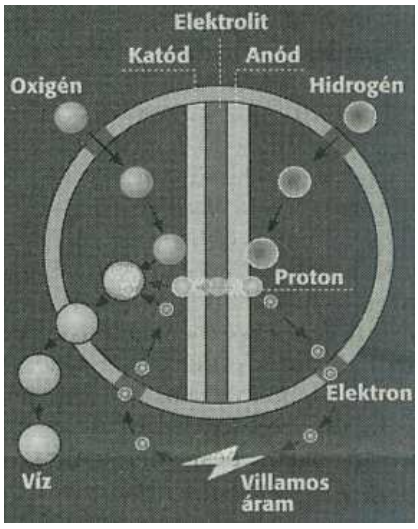
- *Nagy panelok 10÷60 Watt teljesítménnyel:*

Feszültségük általában 6÷12 V, méretük 1000÷5000 cm^2-ig terjed és 10÷36 összekötött cellát tartalmaznak. Alkalmazási területeik: lakóautók áramellátása, szivattyúk meghajtása, távüzemeltetésű berendezések elektromos ellátása (RAPS).

A repülőgépen történő hasznosításnak jelenleg két meghatározó korlátja van:

- a egységnyi felületen előállítható feszültség-áramerősség és a könnyűépítés elvének való együttes megfelelés;
- korlátozottan napfényes, vagy napfénymentes időszakban az energia megbízható pótlása tartalékolt készletekből.

A felsoroltak repülőeszközön történő alkalmazása, az elektromos energia, jelenlegi akkumulátoroknál lényegesen kisebb szerkezeti tömegű és magasabb hatásfokú tárolását, illetev át- (oda-vissza) alakítását feltételezi. Ennek egy lehetséges és ígéretes megoldása a **hidrogénnel működő üzemanyagcella** (29. ábra) Katalizátor segítségével a hidrogén alkotóelemeire, protonra és elektronra bomlik. Az üzemanyagcellában a kémiai folyamatot a levegő oxigénjétől egy elektrolit réteg zárja el, amely csak a protonokat ereszti át, az elektronokat nem. A protonok azonban csak elektronok jelenlétében tudnak reakcióba lépni az oxigénnel. A reakció által felszabaduló energia elegendő ahhoz, hogy elektronokat húzzon át a túloldalra, ezáltal villamos áram jön létre, valamint víz keletkezik.



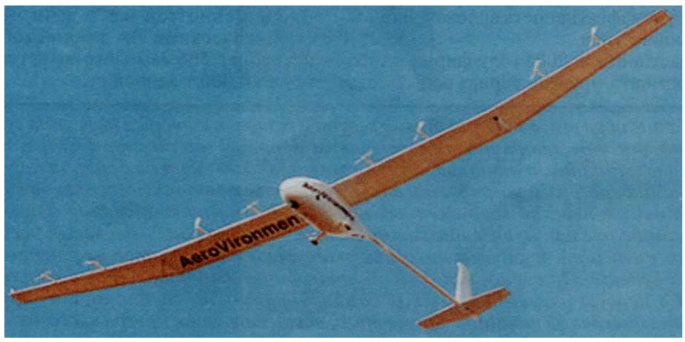
29. ábra 30. ábra

A felsorolt műszaki kérdések – legalább részleges - megoldására építette a NASA, a ’90-es évek második felében, a 30. ábrán látható napelemekkel borított (csupa-) szárnyú kísérleti repülőgépet, mely klimatikus viszonyoktól (t_{lev}, H_{rep}, ρ_{lev}, stb.) függetlenül volt képes napokig H>20 km-es repülési magasságban tartózkodni. Nyolc darab, egyenként néhány száz Watt teljesítményű hajtóműve csak a sárkányszerkezet önsúlyának levegőben tartására volt alkalmas, érdemi hasznos terhelhetőség nélkül.

Napjaink műszaki színvonala lehetővé teszi olyan villamos meghajtású robot-repülőgépek szériában történő megépítését (pl. 31. ábra, „Global Observer”), amelynek fedélzeti

táprendszere már alkalmas a hajtóművek, vezérlő és hírközlő rendszerek, valamint a felderítő konténer egyidejű működtetésére.

Számításba vett alternatíva a napelemes meghajtás számára a bolygókutatás. Minden olyan bolygón, amelyiknek valamilyen aerodinamikai felhajtóerő létrehozására alkalmas légköre van, illetve a termikus és fényviszonyok lehetővé teszik a napelemek működtetését, használható szoláris energiával üzemelő repülőgép.



31. ábra

32. ábra

A 32. ábrán látható, csak egy napelemekkel borított 4,9 méteres fesztávolságú 0,6 méteres húrhosszú téglalap alaprajzú egyenes szárnyból álló UAV repülőszerkezetet – egy hosszabb kísérletsorozat elemeként - magaslégköri kutatásra és meteorológiai felderítésre tervezték a Marson. Valószínűsíthetően, nem a bolygó felszínéről szállna fel, hanem még a légkörbe érés közben az űrjárműről (leszállóegységről) indítják. Ezt követően tetszőlegesen hosszú ideig tartózkodhat a légkörben. A repülőgép próbaútjai 2003-ban kezdődtek meg, a Földön..

6. A „TELJESEN VILLAMOSÍTOTT" REPÜLŐGÉP

Az alternatív hajtómű üzemanyagok kutatásával párhuzamosan, a '70-es évektől több ország kutatóintézetében vizsgálták, vizsgálják a rendszeren belüli szükségszerű energiaátalakítások hatékonyságát, ennek részeként a meglévő gázturbinás hajtóművek lényegesen hatékonyabb működtetésének lehetőségeit, estleges részleges kiváltásuk módját, (pl. villanymotorral).

Ennek időben első eredménye, a számítástechnika fejlődésével, a repülőgépek komplex automatikus vezérlő rendszerének részeként létrehozott, - a hidromechanikusat teljesen kiváltó – digitális hajtómű vezérlés **FADEC** (Full Authorithy Digital Engine Control), ami alkalmas valamennyi üzemmód optimalizálásával a toló-/vonóerő növelésével egyidejűleg, számottevő üzemanyag fogyasztáscsökkentésre is.

A gazdaságossági kutatások már a '70-es évek végén azt mutatták, hogy a - működtetésükhöz a hajtóművektől jelentős, (nagy szállító repülőgépek esetében akár több ezer kilowatt teljesítményt elvonó - segédenergia és fedélzeti légkondicionáló rendszerek hatékonysága még nagymértékben javítható, optimalizálható. Ennek okai:

- a fedélzeten segédenergiaként többnyire együttesen alkalmaznak hidraulikus, pneumatikus és villamos berendezéseket, melyek közül az első kettő hatásfoka általában lényegesen alacsonyabb az utóbbinál. A különböző rendszerek együttes működésekor a meghibásodás valószínűsége, az üzembentartás költségei is magasabbak, mint homogén energetikai megoldás esetén;
- rendszerint valamennyi rendszer (kényszer-)meghajtása a hajtómű segéd-berendezésházáról biztosított;

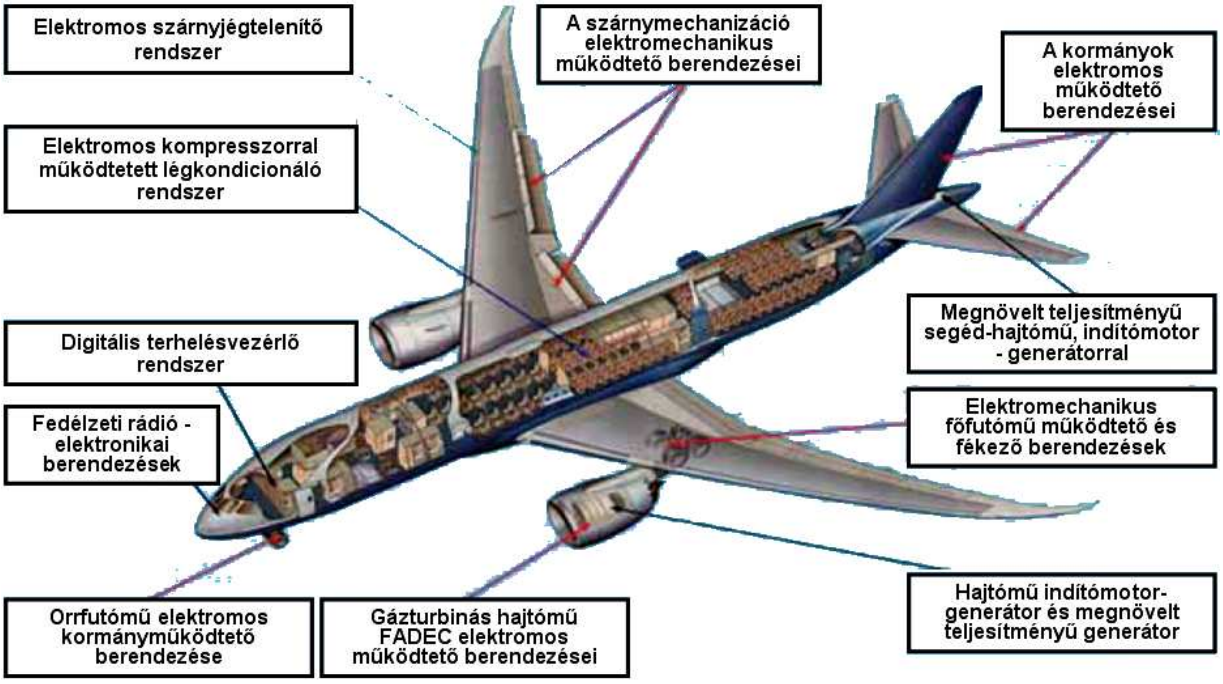
- a fedélzeti légkondicionáló rendszerek – teljesítményigényükön túl jelentős levegő mennyiséget is elvonnak a hajtómű kompresszorfokozatától, ami rontja annak hatásfokát.

Az orosz és nyugati kutatóintézetek előzetes vizsgálatai egybehangzóan bizonyították, hogy a különböző fedélzeti rendszerek homogén, lehetőség szerint a legmagasabb hatásfokú elektromos, energiával történő táplálása - mindenek előtt nehéz szállító repülőgépek esetében - számos gazdaságossági, hatékonysági előnnyel jár. Ezek közül a legfontosabbak:

- üzemanyag megtakarítás 8÷12 %;
- felszálló tömeg csökkenés 6÷10 %;
- a közvetlen üzemeltetési költségek 5÷10 %-os, az élettartam költségek 3÷5 %-os csökkenése;
- az egy meghibásodásra eső repült idő 5÷6 %-os növekedése;
- a műszaki kiszolgálási idő 4÷4,5 %-os csökkenése.

A felsorolt kedvező adatok, kisebb geometriai méretű és tömegű a repülőgépek esetében arányosan csökkenek.

A teljesen villamosított repülőgép kialakításának egymásra épülő programlépései, (’70-es évek végétől: OEA - All Electric Aircraft, ПЭС - полностю электрический самолет, a ’90-es évektől MEA – More Electric Aircraft, 400 millió € ráfordítással, 2002÷2006 POA – Power Optimized Aircraft, 100 millió € költséggel, melynek vezető résztvevői a Thales, Goodrich, Rolls-Royse, Hispano Suiza, stb.) a 33. ábrán látható – hagyományosan, többnyire más energiaforrásról táplált – rendszerek 100 %-os elektromos működtetését célszerűsíti.

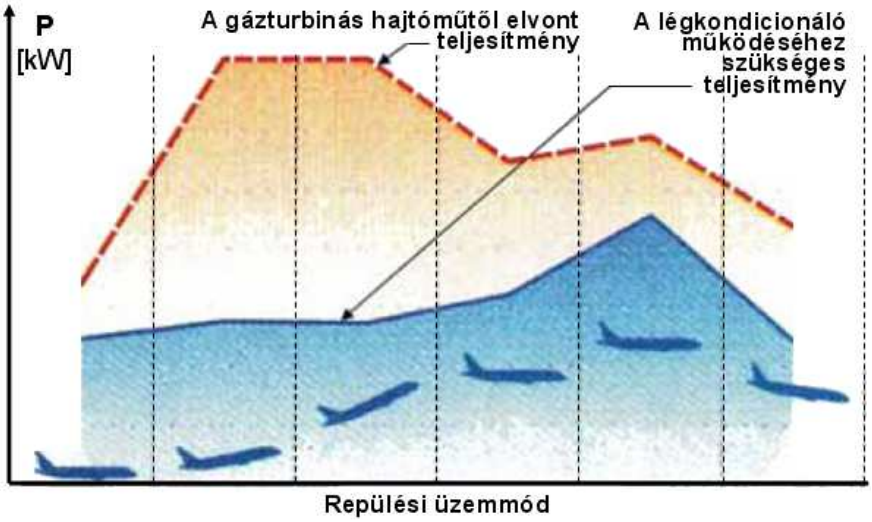


33. ábra

A felsorolt és az ezeket kronológiailag követő MOET (More Open Electrical Technologies) program több eredménye már visszatükröződik a különböző rendeltetésű, A-380, B-787, F-35 legújabb fejlesztésű, polgári és katonai repülőgépeken, de kimutatható az UAV fejlesztésekben is („Barracuda”).

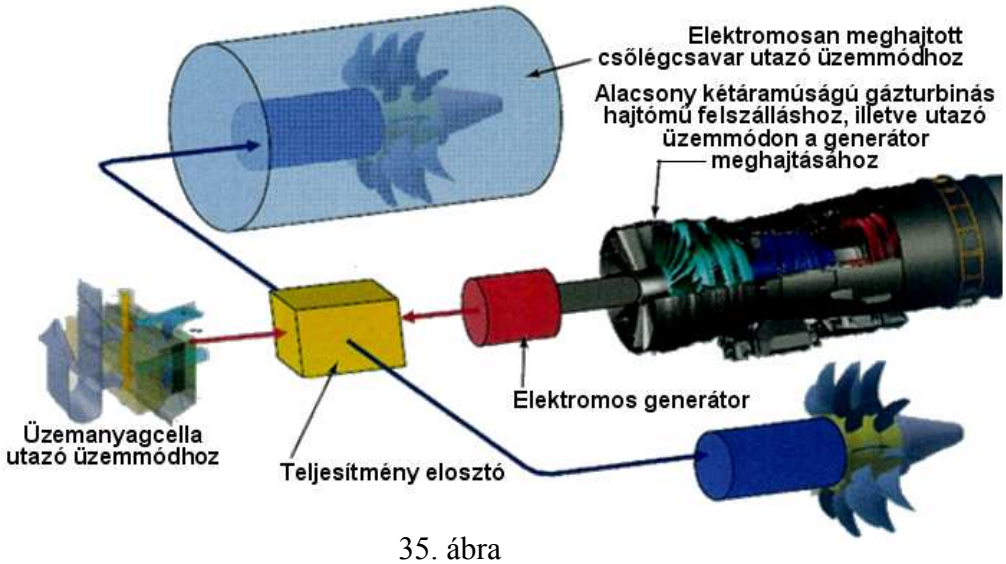
A program keretei között a gazdaságosság javításának egyik meghatározó eleme a hajtómű(vek)től - alapvetően a légkondicionáló, esetenként jégtelenítő rendszer(ek) táplálására szolgáló - levegő elvonásának megszüntetése. Ez annál is fontosabb, mert a légkondicionáló működtetéséhez szükséges teljesítmény eléri, sőt meg is haladhatja az 500 kW-ot, ráadásul a szükséges és a tényleges elvonás mértéke a repülés különböző fázisaiban nagymértékben különbözhet (34. ábra). A kutatások eredményei szerint, amennyiben a légkondicionáló rendszer levegőszállítását elektromosan meghajtott, számítógéppel vezérelt kompresszor biztosítja:

- a működtetéshez szükséges teljesítmény 30 %-kal;
- a rendszer berendezéseinek és csővezetékeinek a tömege 20÷30 %-kal;
- a hajtómű(vek) üzemanyag fogyasztása 1÷2 %-kal csökken.



34. ábra

A kutatások eredményei szerint, a teljesen villamosított repülőgép elektromos táprendszerében, a jelenleg használatos értékekhez képest, a váltóáram feszültségét – 360÷800 Hz között változtatható frekvencia mellett - legalább kétszeresére, az egyenáramét 10÷20-szorossára (270÷540 V) szükséges emelni.



35. ábra

A jelenleg folyó kutatások két fontos megoldandó kérdése:

- az elsődleges kormányvezérlő rendszer hidraulika munkahengereinek kiváltása;
- a légcsavarok működtetése villanymotorral.

Első esetben a legnagyobb nehézséget az jelenti, hogy a könnyű építés elveinek megfelelő nagy teljesítményű, minimális szerkezeti tömegű motor csak nagy, (20000÷40000 ford/perc) fordulatszám alkalmazásával lehetséges. Ennek haladó mozgássá alakítása, csak 1÷3 fokozatú fordulatszám-csökkentő egység (pl. bolygómű) alkalmazásával lehetséges. Belátható, hogy – különösen az intenzív, manőverező repülésnél szükséges – gyakori, különböző irányú kormánymozgatás tartós, megbízható, késleltetés-mentes, pontos követése, nehézkes, nem éri el a hidromotorok hatékonyságát, megbízhatóságát..

A turboprop/fan repülőgépek működési hatékonyságát is lényegesen növelné, a légszennyezést markánsan csökkentené a légcsavarok elektromos meghajtása, legalább utazó üzemmódon. A gázturbinás hajtómű ennél a megoldásnál csak a felszálláshoz szolgáltatna kisegítő tolóerőt, a repülés további szakaszaiban mint villamos erőmű meghajtóegysége működne (35. ábra). Ennek gyakorlati megvalósítása azonban, még a villamos hálózatokon belüli energia átalakítás és a megbízható tárolás hatékonyságának további érdemi javítását feltételezi.

Felhasznált irodalom

1. Ijesztőek a globális légszennyezési adatok, [origo]2008. 09. 30., 11:28
2. Jakabffy Éva Kék bolygó, zöld jövő – mennyit érnek a megújuló energiák? www.origo.hu/tudomány, 2008. 04. 22., 8:40
3. Jakabffy Éva Kék bolygó, zöld jövő – mennyire zöldek a megújuló energiák? www.origo.hu/tudomány, 2008. 05. 02., 8:08
4. Kis kémiai szótár, GONDOLAT KIADÓ, Bp. 1972.
5. Környezetbarát energia a vízből – a jövő a hidrogéné lehet, www.origo.hu/tudomány, 2008. 06. 30.
6. Nárai-Szabó István: Kémia, MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ, 1973.
7. Óvári Gy: Merev és forgószárnyas repülőgépek szerkezettana III. Repülőgépek rendszerei, (egyetemi/főiskolai jegyzet) KGYRMF, Szolnok, 1990.
8. Pesthy Gábor: Áttörés a hidrogén előállításában, www.origo.hu/tudomány, 2008. 08. 19.
9. Szenzáció, itt a repülőgép ami gázzal működik, www.hvg.hu 2009. 11. 05.
10. Új hidrogénforrás, www.termeszetvilaga.hu 2005. 06. 15.
11. www.kekenergia.hu Non-profit megújuló energiákat ismertető oldal : Kyocera japán napelemek; Napenergia hasznosítása napkollektorral, napelemmel, hőszivattyúval;
12. Вороновым, С. – Каргополцев, В. – Кутасов, В.: „Полностью электрический самолет” АВИАПАНОРАМА 2009. 03-04. p.14-17.
13. Зайцев, В.: Новое толиво для авиации АВИАГЛОБУС 2009. 07. p. 10-13.
14. Катин, Д: Работы в США по оптимизации затрат на закупку топлива для военной авиации, ЗАРУБЕЖНОЕВОЕННООВОБОЗРЕНИЕ 2008. 07. p. 46-50.
15. Маврицкий, В. И. – Зайцев, В.: ЛТХ двухтопливного вертолета АВИАГЛОБУС 2009. 06. p. 16-17.
16. Чернышев, С. Л. – Ковалев, И. Е. – Маврицкий, В. И.: Переход на новое авиационное топливо АВИАГЛОБУС 2009. 09. p. 24-29.
17. Цены на авиатопливо будут снижены дважды Источник: «**Независимое Информационное Агентство**» Опубликовано: 12.12.2008, 18:01

Pokorádi László – Molnár Boglárka

MONTE-CARLO SZIMULÁCIÓS VALÓSZÍNŰSÉGI BIZONYTALANSÁGELEMZÉS SZEMLÉLTETÉSE

1. BEVEZETÉS

A matematikai modellezés fő feladata a technikai rendszerben lejátszódó folyamatok, jelenségek — a vizsgálati szempontok szerint — lehető legpontosabb modelljeinek felállítása és eredményeinek kiértékelése. A modell felállításakor, valamint a kapott eredmények értékelésénél és elemzésénél számolnunk kell valamilyen fajtájú és mértékű bizonytalansággal.

Ezért a Debreceni Egyetem Műszaki Karán folyó Rendszertechnika tantárgy oktatása során hangsúlyosan kezeljük a matematikai modellek különféle bizonytalanságainak elemzését.

A Szerzők célja egy, mindenki által érthető, egyszerű, hétköznapi példán keresztül bemutatni a modellalkotás bizonytalanságainak forrásait és a különböző parametrikus bizonytalanságok elemzési eljárásait — tudományos diákköri munka keretében [5]. A vizsgált példa egy személygépkocsi tüzelőanyag fogyasztásának *tele tank módszer*rel való meghatározása. Az elemzési módszerek egyike a Monte-Carlo szimuláció alkalmazásával történő valószínűségi bizonytalanság-elemzés.

A Monte-Carlo módszert NEUMANN JÁNOS dolgozta ki 1945-ben, amely egy matematikai eszköz, és alkalmas arra, hogy véletlen események sorozatával oldjunk meg determinisztikus problémákat. Monte-Carlo módszereknek nevezzük a matematikai modellek megoldásának véletlen mennyiségek modellezését felhasználó numerikus módszereit, és azok jellemzőinek statisztikus értékelését. A módszert széles körben alkalmazzák különböző események lehetséges kimeneteleinek és azok valószínűségeinek szimulációjára, amikor a rendszer gerjesztő paraméterei bizonytalanok. Lényege, hogy az egyes bizonytalan gerjesztésekhez rendelt valószínűség-eloszlás alapján véletlenszerűen választunk ki értékeket, amelyeket a szimulációs vizsgálat egy-egy kísérletében használunk fel. Manapság a mérnöki és természettudományos kutatások csaknem összes területén széleskörű alkalmazása van a determinisztikus és statisztikus problémák megoldásának. Ilyen statisztikus probléma lehet az elektron transzportja is szilárd anyagban [6].

A tanulmány bemutatja a matematikai modellbizonytalanság fajtáit, forrásait, leírási módjait és a parametrikus bizonytalanság Monte-Carlo szimulációs elemzési eljárását, illetve annak szemléltetését egy mintapéldán keresztül.

A cikk az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet a modellalkotási bizonytalanság elemzési módszereit mutatja be. A 3. fejezet ismerteti a Monte-Carlo szimulációt. A 4. fejezetben a szemléltetésre kiválasztott mintapélda ismerhető meg. Az 5. fejezetben összegzik munkájukat és jövőbeli kutatási

terveiket körvonalazzák a Szerzők.

2. BIZONYTALANSÁG ELEMZÉSI MÓDSZEREK

A matematikai modellezés fő feladata valós fizikai jelenségek folyamatok vagy rendszerek modelljeinek felállítása. A numerikus modelleket és paramétereket a modellezett rendszer természete és a megkívánt pontosságú eredmény függvényében kell kiválasztanunk. A gerjesztések, valamint a belső jellemzők helyes feldolgozása biztosítja, hogy a rendszer valós tulajdonságai tükröződnek az eredményekben. Ezért kritikus kérdés a megfelelő modell és a rendelkezésre álló adatok helyes feldolgozása. A mérnöki gyakorlatban a rendelkezésre álló információ gyakran nem kellően megbízható vagy pontos — inkább pontatlan, diffúz, fluktuáló, nem teljes, töredékes, megbízhatatlan, félreérthető, és főleg a nyelvi változók jelentős szubjektivitással bírnak. Ezeket az információkat főleg tervek, tervrajzok, mérések, megfigyelések, tapasztalatok, szakértői ismeretek, és előírások alapján nyerhetjük. Ráadásul, ezeket az adatokat a gyártás, üzemeltetés során bekövetkező emberi tévedések, hibák, illetve a környezet paramétereinek sztochasztikus változásai is befolyásolják. A fenti jelenségeket egy általános kifejezéssel tudjuk összegezni, ez a bizonytalanság [7]. A bizonytalanság elválaszthatatlan egy modelltől, a gerjesztésektől és a modellparaméterektől. A bizonytalanság elemzés információt ad a kapott válaszok hibahatárairól, a modell eredményeinek elfogadási szintjéről.

A rendelkezésre álló információk bizonytalansága megakadályozhatja a helyes modell, valamint pontos adatok, felesleges információk nélküli meghatározását. Ezért, a bizonytalanságot egy alkalmas modellel kell leírnunk, mely összhangban van a fizikai rendszerről rendelkezésre álló információinkkal, és azt valamilyen numerikus módon oldunk meg. Ebből a szempontból a hiányosságok torzított számítási eredményekhez, rossz döntésekhez vezethetnek.

A bizonytalanság — annak forrása alapján történő — osztályozása megkülönböztet parametrikus (angol nevén: „aleatory uncertainty”, illetve a modern szabályozástechnikában inkább a „parameter uncertainty”) és ismereti (epistemic) bizonytalanságot. Bár ez a csoportosítás nem abszolút kategorikus terminológiát használ, alkalmas megkülönböztetést ad a nem redukálható parametrikus bizonytalanság, illetve a redukálható bizonytalanság között. Mivel az első a paraméteringadozáshoz köthető — szemben az utóbbi, az ismeretek hiányához kapcsolható — ismereti bizonytalansággal [7]. Ez indokolja a parametrikus bizonytalanság értelmezését úgy, mint sztochasztikus (aleatory — véletlenen múló, esetleges) bizonytalanság — ami a valós rendszerről szerzett véletlen tapasztalatok eredményeként jelenik meg.

Az ismereti bizonytalanság szubjektív bizonytalanságként szemlélhető, ami mint a valószínűségi modellezéssel szembenálló okok sorozataként vezethető be. Ezek az okok magukba foglalhatják például az információk hiányát, melyek megakadályozhatják a helyes modell és a véletlen természet általános megfigyelési rendszereinek meghatározását.

A parametrikus bizonytalanság elsődlegesen az objektivitáshoz kapcsolható, szemben az ismereti bizonytalansággal, mely az objektivitáshoz és szubjektivitáshoz egyaránt köthető, esetileg külön-külön, illetve egyszerre. Következésképpen, a parametrikus bizonytalanság megfelelő módszerekkel modellezhető és feldolgozható. Erre jó példa SZABOLCSI [9] munkája, aki tanulmányában a repülőgéptörzs elasztikus mozgásának matematikai leírását végezte el. Igazolta, hogy az úgynevezett aeroelasztikus hajlító lengések irányítástechnikai jellemzői, az erősítési tényező, a sajátlengések frekvenciája, valamint a csillapítási tényező, a merev repülőgép repülésdinamikai jellemzőihez képest paraméterbizonytalanságként értelmezhetőek, amelyek matematikai modellezésére az additív sémát javasolta.

Fontos itt még megemlíteni BAGYINSZKI és BITAY [1] könyvét, melyben — többek között — a félempirikus (vagy részben empirikus) matematikai modellek mért vagy tapasztalati alapokon nyugvó bizonytalanságaira hívják fel a figyelmet. Ezen modellek használata akkor válhat szükségessé, ha a modellezendő rendszer vagy folyamat nem írható le teljes egzaktsággal, esetleg a bonyolultsága miatt a jelenséget egyszerűbb formára célszerű visszavezetni. Ilyen esetekben az eltéréseket tapasztalati úton meghatározott tényezőkkel lehet korrigálni.

A parametrikus bizonytalanság tudományos szintű elemzése alapvetően két eltérő módon oldható meg [4].

Az első mód a gerjesztések bizonytalansága következtében fellépő lehetséges rendszerválaszok meghatározása intervallum értékekkel. Ezen eljárási mód annak figyelembevétele, hogy néhány vagy az összes paraméter nem egy adott értékkel rendelkezik, hanem bizonyos intervallumon belül található. Általános megfogalmazásuk esetén az intervallumokhoz nem kapcsolunk valószínűségi eloszlásokat, csak a lényegi eredmények lehetséges jövőbeli értékeit határozzuk meg.

Ha csak egy paraméter értéke bizonytalan, annak a megfelelő intervallumát kell figyelembe vennünk, mint a rendszerválaszok egy véges halmazát. De, ha több paramétert kell figyelembe vennünk, független kimenetek keletkeznek, mivel több változó korrelált lehet. Ezért a független feltételezések sok esetben az extrém értékek irreális kombinációihoz vezethetnek.

Számos esetben előfordul, hogy az adott problémát egy lineáris matematikai modellel tudjuk elemezni, de az együtthatók és a paraméterek valamilyen szintű bizonytalansággal, így egy intervallummal bírnak.

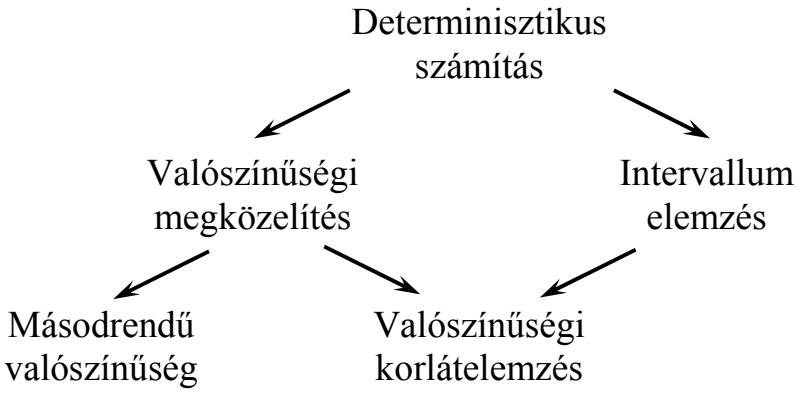
A másik alapvető módszer a környezet gerjesztéseinek minden lehetséges eleméhez való valamilyen valószínűségi eloszlás rendelése. A lehetséges rendszerválaszokhoz történő valószínűségek rendelése egy általánosan alkalmazott gyakorlat, noha ilyenkor az sem ritka, hogy az úgynevezett szubjektív valószínűségekkel találkozunk, ami a szakértők (vagy bizonyos esetekben a laikusok) által becsült valószínűségi értéket jelent. Néhány esetben eme szubjektív valószínűségeket, mint intervallumokat adják meg, ilyenkor úgynevezett másodrendű bizonytalansági modellekről beszélünk.

Gyakoribb esetben, ha az adatok valószínűségi eloszlásai ismertek, elméletileg mindegyik alternatíva következményeinek eloszlását is megtudhatjuk. Ez egy egyszerű kritérium esetén a vizsgált

rendszer vagy folyamat kvalitatív tulajdonságának valószínűségi eloszlását jelenti.

Például egy determinisztikus vizsgálati modell esetén, amikor a modell belső jellemzői valamilyen bizonytalansággal bírnak a kalkuláció során használt valós értékű mennyiségekkel kapcsolatban, a bizonytalanságelemzés intervallumelemzéshez vezethet.

A valószínűségi módszerek, mint például a Monte Carlo szimuláció, mellyel részletesebben a következő fejezetben foglalkozunk.



1. ábra Az eltérő bizonytalanságelemzési módok [7]

Alternatívaként használhatunk korlátozási megközelítést a valószínűségi számításokhoz is. Ekkor a valószínűségi eloszlások intervallum típusát kapjuk. Ezt a technikát valószínűségi korlátelemzésnek (PBA — Probability Bounds Analysis) nevezzük. Ez a megközelítés valószínűségi eloszlásokkal kapcsolatos bizonytalanságát jellemzi egy, a határeloszlás függvény-párban fekvő úgynevezett kumulatív eloszlásfüggvények halmazával.

Ha az adatok száma nem elegendő a statisztikai elemzésekhez, így a valószínűség számítás alkalmazásához, analógiák alapján fel lehet tételezni az eloszlás jellegét, de ennek már szubjektív jellege van. Kellő tapasztalattal az eloszlás lehetséges alsó és felső határait ki lehet jelölni. Ez utóbbi vezet a valószínűségi korlátelemzéshez.

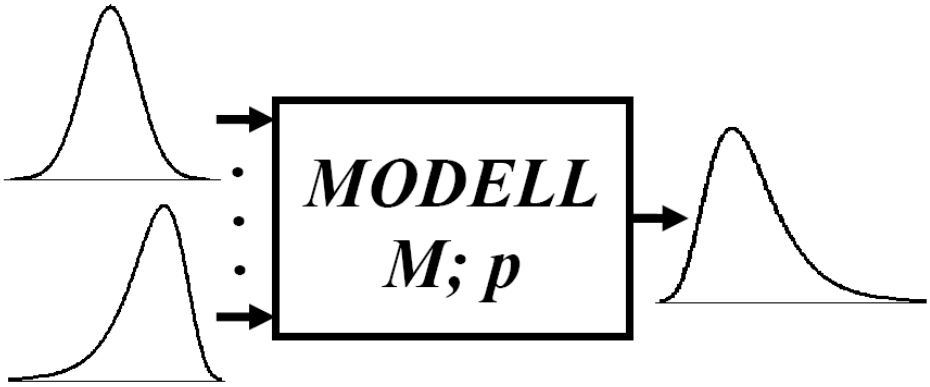
Az 1. ábra a fent említett lehetséges elemzési módokat, benne a nyilak a módok fejlődését szemlélteti.

Egy viszonylag új út a kiegészítő információk bizonytalansági modellekbe történő beépítésére a fuzzy halmazelmélet alkalmazása, amikor nem statisztikai adatokkal rendelkezzük az adatokkal kapcsolatos szakértői vélemények kvalitatív leírásai vagy az alternatívák következményeinek értékelésére.

3. A MONTE-CARLO SZIMULÁCIÓ

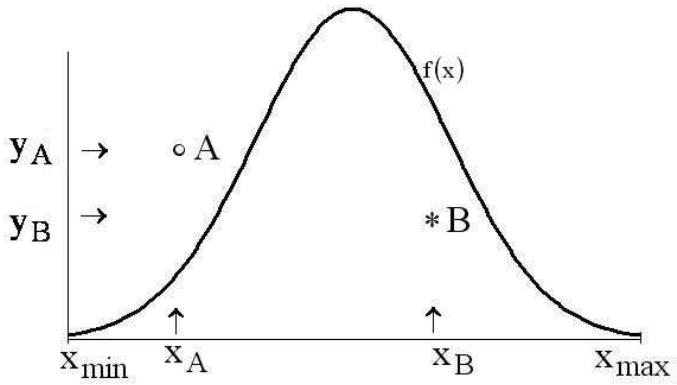
Szimulációról beszélünk, amikor egy folyamat vagy rendszer vizsgálata egy azokat helyettesítő modell segítségével történik. Ilyenkor olyan matematikai modelleket alkalmazhatunk, melyek az elemzett

folyamatot vagy rendszert jól leírják, és numerikusan megoldhatók. Ha a szimuláció során véletlenül választott pontokat vagy mennyiségeket használunk, akkor Monte-Carlo (vagy véletlen) szimulációról beszélünk. Ezt szemlélteti a 2. ábra.



2. ábra Monte Carlo szimuláció

A Monte-Carlo szimulációs módszert NEUMANN JÁNOS dolgozta ki 1945-ben. Lényege, hogy az egyes bizonytalan tényezőkhöz rendelt valószínűség-eloszlások alapján véletlenszerűen választunk ki értékeket, amelyeket a szimulációs vizsgálat egy-egy kísérletében felhasználunk. Monte-Carlo módszereknek nevezzük a matematikai feladatok megoldásának véletlen mennyiségek modellezését felhasználó numerikus módszereit és azok jellemzőinek statisztikus értékelését. A Monte-Carlo egy olyan matematikai eszköz, mely alkalmas arra, hogy véletlen események sorozatával oldjunk meg determinisztikus problémákat [2].



3. ábra Kiszorításos véletlen szám generálás szemléltetése

A gerjesztések meghatározásához az úgynevezett kiszorításos módszert alkalmazhatjuk. Az eljárás lényege az alábbiak szerint írható le: Az egyenletes eloszlású véletlen szám generátor (ezzel minden programnyelv rendelkezik) felhasználásával kiválasztunk a gerjesztési tartományon belül egy x értéket, majd ehhez hozzárendelünk egy y_x véletlen értéket. Az előre meghatározott sűrűség függvény alapján döntünk a generált x számról:

ha $y_X > f(x)$, „elvetjük” az adott x értéket (lásd **A** pont a 3. ábrán);

ha $y_X < f(x)$, „megtartjuk” és a szimuláció során, mint input érték alkalmazzuk az adott x értéket (lásd **B** pont a 3. ábrán).

A módszert széles körben alkalmazzák különböző események lehetséges kimeneteleinek és azok valószínűségeinek szimulációjára, amikor a bemenő paraméterek bizonytalanok. Nézzünk röviden egy-két példát a Monte-Carlo szimuláció alkalmazására:

Kísérleti eredmények kiértékelésére OROSZ [6] egy olyan Monte-Carlo modellt dolgozott ki, mely alapján számítógépes, szimulációs programot készített. Célja egy egyszerű, hatékony eljárás kidolgozása, mellyel kísérleti elektron-spektroszkópiai eredményeket lehet kiértékelni. A módszer alkalmazásával olyan fizikai paramétereket származtatott, melyeket más módszerekkel különösen nehezen határozhatók meg (például a rugalmas visszaszórási tényező).

ROHÁCS [8] tanulmányában az európai kisrepülőgép és a személygépkocsik 2006-os teljes üzemeltetési költségét elemezte. Azonban a jövőbeli teljes üzemeltetési költségbecsléshez bizonytalan faktorokkal kellett szembe nézni, mivel az egyes költség elemek alakulása nem tisztázott. Így Monte-Carlo szimulációt alkalmazott. Vizsgálata során számos típusú eloszlás sűrűség függvényét alkalmazta. Az eredmények azt mutatták, hogy az európai kisrepülőgép teljes üzemi költsége átlagosan 26 ~ 27 %-al csökken a teljes szimulációs időtartam alatt. Az eredmény alapján kijelenthetjük, hogy pár évtized múlva a kisrepülőgépeknek jelentősebb szerep fog jutni Európa közlekedésében.

A [3] cikkben GOLDSWORTHY szerzőtársaival a radioaktívhulladék-tárolók lezárást követő fázisára vonatkozó biztonsági értékelésének a hátterét és az értékelési folyamatot mutatta be, a modellezéshez és számításokhoz szükséges két módszerrel együtt. E két megközelítés közül az egyik a Monte-Carlo szimuláció felhasználása. A számított eredményeket fel lehet használni a további vizsgálatok és a tervezési lehetőségek meghatározására, vagyis azok optimálására.

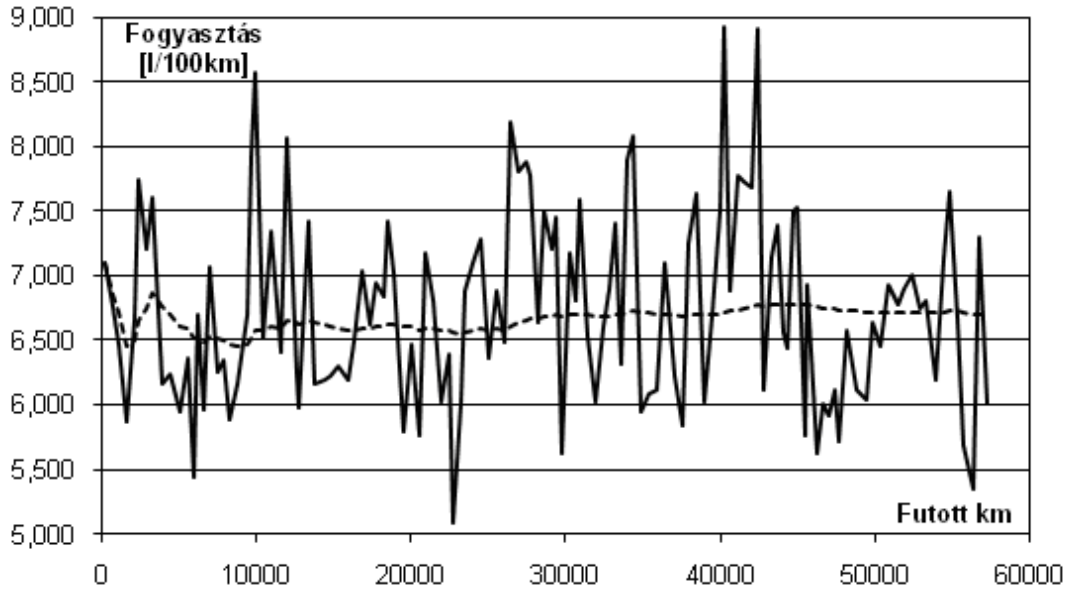
TAKÁCS a megtérülési kockázatot vizsgálta egy közepes magyarországi település környezetében a nettó jelenérték számításával a gazdálkodáshoz szükséges eszközök beruházási igényének, illetve a gazdálkodásba vont terület termelési szerkezetének függvényében [10].

4. A SZEMLÉLTETŐ PÉLDA

Manapság kevés embernek ismeretlen az a tankolási, gépkocsi tüzelőanyag fogyasztás meghatározási módszer, melynek lényeg az, hogy minden egyes üzemanyag feltöltésnél teletankoljuk az autót, majd a „napi” kilométeróra nullázásával le tudjuk mérni a megtett kilométereket, és meghatározhatjuk az aktuális fogyasztást. Ezt a módszert nevezzük röviden „tele tank” módszernek. Felmerült bennünk a kérdés, amivel a módszer megbízhatóságát és pontosságát vontuk kérdőre: Mennyire adhat ez pontos értéket? Az evidens, hogy a fogyasztás mértéke több befolyásoló tényezőtől függ, de megvizsgálva a

helyzetet műszaki szempontból, más keltette fel a figyelmünket. A kérdésben felmerült problémát elemezve méréseket végeztünk, aminek a lényege az volt, hogy egy általános helyzetet felállítva, minden mérési adat pontos felvételével és feldolgozásával megvizsgáltuk ezt a szituációt.

Ez a következőképpen történt: egy újonnan, szalonból kihozott autón végeztük a méréseket, melyek abból álltak, hogy minden egyes üzemanyag feltöltés előtt felvettük az adatokat, majd teletankoltuk az autót, a napi kilométer-számlálót nullláztuk. A töltés és a napi futott kilométer alapján határoztuk meg gépkocsi aktuális fogyasztását, és újraindult a mérés. Az aktuális fogyasztások eredményeinek felhasználásával — a töltött üzemanyag és a futott aktuális kilométerek összegei alapján — határoztuk meg az átlagos fogyasztást. A mérési eredményeket — a fenti módon meghatározott aktuális és azok összegzésével számított átlagfogyasztásokat — mutatja be a 4. ábra.



4. ábra. Fogyasztások változása a futott kilométerek függvényében

4.1. Előkészítési szakasz

A Monte-Carlo szimulációs valószínűségi bizonytalanság elemzés szemléltetése érdekében válaszoljunk a következő kérdésre: Mekkora távolságot tudunk megtenni egyetlen tankolással?

A válasz érdekében először a 4. ábra eredményei alapján meg tudjuk határozni a gépkocsi f fogyasztásának háromparaméteres

$$\beta = 2{,}6 \quad \eta = 2 \quad \gamma = 5$$

$$f_f(x) = \begin{cases} 0 & \text{ha } x \le \gamma \\ \dfrac{\beta}{\eta}\left(\dfrac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} & \text{ha } x > \gamma \end{cases} \tag{1}$$

Weibull valószínűségi eloszlását, melynek várható értéke (átlaga): 6,74 liter/100 km.

Következő lépésként meg kell vizsgálnunk a tüzelőanyag tartály V kapacitását. A gyakorlatban azt tapasztalhatjuk, hogy ugyanabba a gépkocsi tartályba úgy mond legalább „plusz–mínusz” egy liter eltéréssel lehet tankolni, a gépkocsi térbeli helyzete (Merre lejt a töltőállomás? Van-e kisebb bucka vagy gödör a kerekek alatt? Mennyire terhelt a gépkocsi? stb.), valamint a kútkezelő „stílusa” alapján. Ezt figyelembe véve a gépkocsi tartály 45 literes névleges kapacitásával és a fenti pontatlansággal számolva vettük fel a töltött tüzelőanyag mennyiség

$$m_V = 45 \quad \sigma_V = 0{,}333$$
$$f_V(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \tag{2}$$

sűrűség függvényű normális eloszlását.

Ezt követően a vizsgált rendszer matematikai modelljét kell felállítanunk, ami esetünkben nagyon egyszerű:

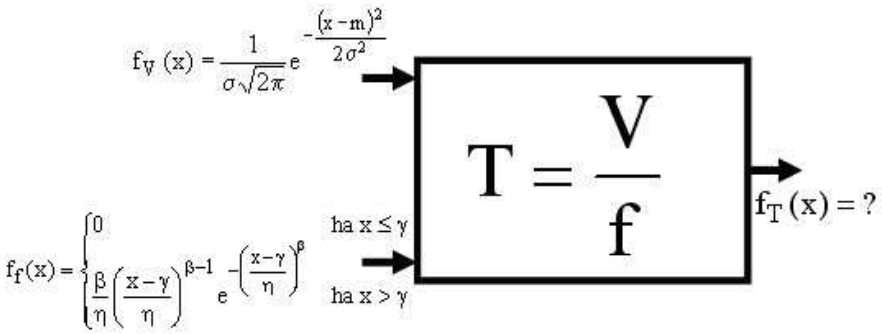
$$T = \frac{V}{f} \quad , \tag{3}$$

ahol:

T — a megtehető távolság, kilométerben megadva (lásd 5. ábrát).

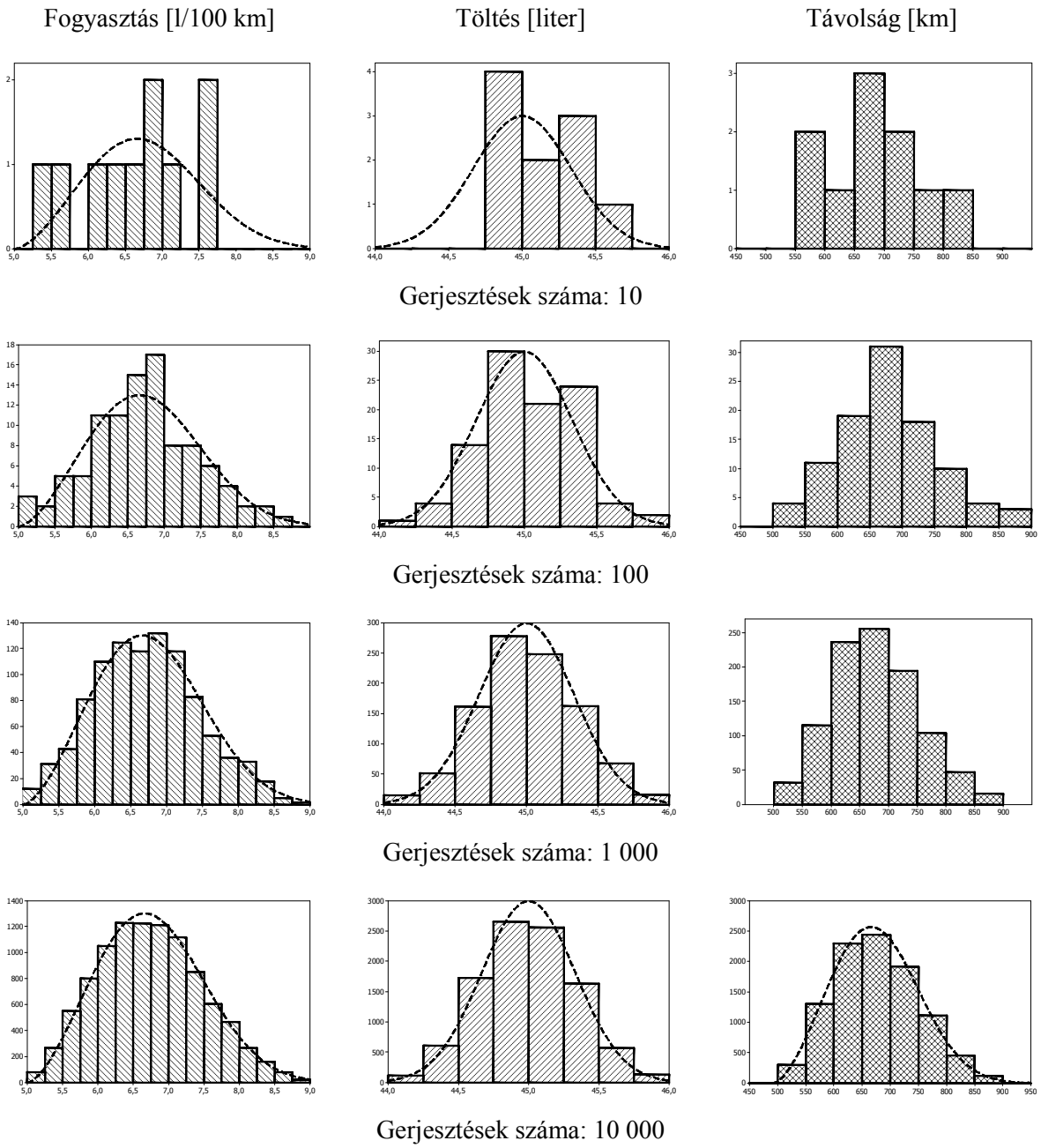
4.2. Szimulációs szakasz

A Monte-Carlo szimuláció lényege, hogy a modell bemenő jellemzőit a tapasztalati úton felvett eloszlások alapján, mint véletlen számokat generáljunk, majd azokat felhasználva meghatározzuk a kimenő jellemzők várható eloszlását. Esetünkben — (1) és (2) egyenletek alapján — generáljuk a tüzelőanyag fogyasztásának, valamint a tartály töltöttségének értékét és a (3) egyenlettel számoljuk ki a megtehető távolságokat. Ezt követően a megtehető távolságok hisztogramját és eloszlásukat határozzuk meg (5. ábra).



5. ábra A mintapélda sémája

A Monte-Carlo szimulációs program — mely Turbo Basic v. 1.1. programnyelven íródott — futási eredményeit szemlélteti a 6. ábra — 10; 100; 1.000; valamint 10.000 gerjesztés szám esetén. (A hisztogramok elkészítéséhez és a későbbi statisztikai elemzésekhez MINITAB® Release 14.12.0 szoftvert alkalmaztunk, melyek illeszkedésvizsgálati eredményeinek ismertetésétől itt eltekintünk.) A fogyasztás és a töltés hisztogramoknál ábrázoltuk a véletlen szám gerjesztésnél figyelembe vett sűrűség függvényeket is. Így jól látható, hogy az alacsonyabb gerjesztés számok esetén a mintahalmaz nem közelíti jól az (1), illetve (2) egyenletekkel jellemzett eloszlásokat.



6. ábra A Monte-Carlo szimuláció futási eredményei

A 10.000 gerjesztés eredménye alapján statisztikai elemzéssel a megtehető távolságok eloszlását az alábbi háromparaméteres Weibull függvénnyel vettük fel:

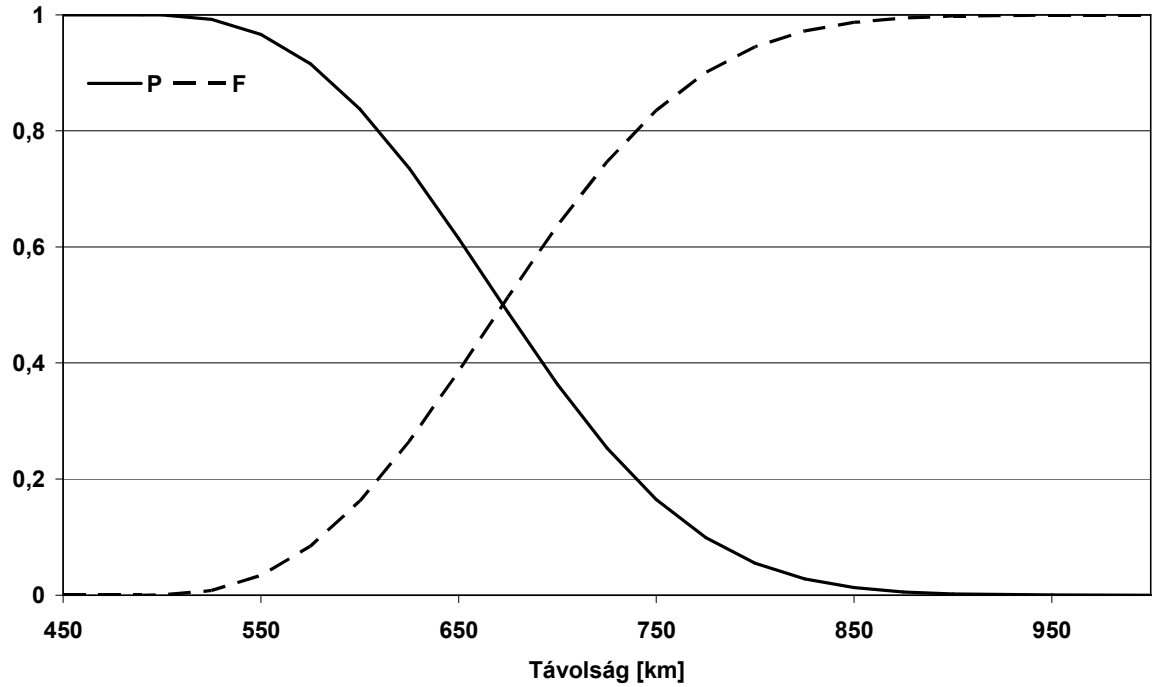
$$\beta = 2{,}69293 \quad \eta = 208{,}531682 \quad \gamma = 490{,}34375$$

$$f_T(x) = \begin{cases} 0 & \text{ha } x \le \gamma \\ \dfrac{\beta}{\eta}\left(\dfrac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} & \text{ha } x > \gamma \end{cases} \tag{4}$$

$$F_T(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad \text{ha } x > \gamma$$

4.3. Értékelési szakasz

A szimulációs vizsgálat ezen szakaszában tudunk választ adni az elemzés elején fel tett kérdésre. Ezek szerint a 10.000 gerjesztéssel elvégzett Monte-Carlo szimuláció alapján az egy tank tüzelőanyaggal megtehető távolság a (4) egyenlettel jellemezhető, és a 7. ábrán szemléltetett háromparaméteres Weibull eloszlással írható le.



7. ábra A megtehető távolság eloszlás függvénye a Monte-Carlo szimuláció alapján.

Ez a fenti kérdésre adható válasz rendszermodellezési szempontból. Gyakorlati jelentése pedig a következő lehet: Ha $F(x)$ (7. ábra szaggatott görbe) annak a valószínűsége, hogy adott távolság megtételekor kifogy a tüzelő anyag a tartályból, akkor

$$P(x) = 1 - F(x) \tag{5}$$

valószínűséggel el tudunk a jutni az adott távolságra egy teljes tank tüzelőanyaggal. Más szóval, meg tudjuk mondani, hogy mekkora az esélyünk, hogy a célállomásra eljutunk tankolás nélkül.

A fenti kijelentés szemléltetésére szolgál az 1. Táblázat, mely számszerűen megmutatja, hogy adott távolságokat milyen valószínűséggel tudunk megtenni egy tele tank tüzelőanyag tartállyal.

T [km]	500	550	600	650	700	750	800
P [%]	99,97	96,62	83,77	61,44	36,26	16,45	5,50

1. Táblázat A távolságok megtételének valószínűségei

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Összegzésként elmondható, hogy minden matematikai modellel együtt jár annak valamilyen mértékű bizonytalansága, melyet a modell használhatósága érdekében elemeznünk kell. A tanulmány bemutatta a bizonytalanság elemzési eljárásokat, és részletesebben szemléltette a Monte-Carlo szimulációs módszert egy egyszerű, hétköznapi példán keresztül.

Az utóbbi években a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Menedzsment és Vállalkozási Tanszékén intenzív kutatómunka folyik annak feltárása céljából, hogy a széles értelemben vett modellezés bizonytalanság kezelés milyen módon oldható meg a leghatékonyabb formában. Ezzel egy időben fontos feladatként fogalmazódott meg ezen eljárások egyszerű szemléltetése a Rendszertechnika tantárgy oktatásakor.

A Szerzők munkájuk során olyan tanulmányok elkészítését tűzték ki céljukként, amelyek leírják ezeket a bizonytalanságokat, értelmezik, vizsgálják és szemléltetik a matematikai modellek bizonytalanságainak elemzési módszereit.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] BAGYINSZKI GY., BITAY E.: Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába, Erdélyi Múzeum- Egyesület, Kolozsvár, pp. 213. (ISBN 973-8231-66-3)

[2] BRONSTEJN, I. N., ET AL.: Matematikai kézikönyv, Typotex, Budapest, 2006, pp. 1209.

[3] GOLDSWORTHY M., ET AL.: Probabilistic and fuzzy approach to safety assessment for the Bátaapáti (Üveghuta) Site, Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2003 (2004), 503-518.

[4] MOLNÁR B.: Gépjármű fogyasztás meghatározásának bizonytalansága — A futott kilométerek kérdése, Műszaki Tudomány az Észak-Alföldi Régióban 2009., p. 179–184. (ISBN 978-963-7064-21-0)

[5] MOLNÁR B.: Parametrikus bizonytalanságok leírási módjai, TDK 2009.

[6] OROSZ G. T.: keV-os ELEKTRONOK VISSZASZÓRT ENERGIASPEKTRUMÁNAK MONTE CARLO SZIMULÁCIÓJA, Doktori (Ph. D.) értekezés, Veszprémi Egyetem, 2003., pp. 92.

[7] POKORÁDI L.: Rendszerek és folyamatok modellezése, Campus Kiadó, Debrecen, pp.242. (ISBN 978-963-9822-06-1)

[8] ROHÁCS D., KISREPÜLŐGÉPEK ELÉRHETŐSÉGÉNEK HOSSZÚTÁVÚ ELŐREJELZÉSE, Repüléstudományi Közlemények, 2007, Különszám, pp. 8

[9] SZABOLCSI, R., Design of the Pitch Attitude Control System for the Aeroelastic Fighter Aircraft, Bulletines for Applied Mathematics, BAM-1240/96 (LXXX), pp(29-40), ISSN 0133-3526, Technical University of Budapest, 1996.

[10] TAKÁCS I, ET AL.: A VERSENYKÉPES VIRTUÁLIS (NAGY)ÜZEM COMPETITIVE VIRTUAL (LARGE-SCALE) FARM, BULLETIN of the Szent István University, Gödöllő, 2008. p. 237-339.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. Resperger István - Túri Viktória

A TERRORIZMUS ÉS AZ ASZIMMETRIKUS HADVISELÉS PSZICHOLÓGIAI ASPEKTUSAI

Bevezetés

A terrorizmus elleni harc és az aszimmetrikus hadviselés problémáival foglalkozó hazai és külföldi szakértők 1972-től számolnak a nemzetközi terrorizmussal, de az igazi mérföldkövet a 2001. szeptember 11-i támadás jelentette a világ minden országa számára. Ezen a napon vált világossá az emberek számára, hogy a múltban alkalmazott erők, eszközök és eljárások nem tudták meggátolni a nemzetközi terrorizmus akcióit és az újabb akciók előkészítését. Új, jobban felkészült erőkre, hatékonyabb eszközökre és sikeresebb harci eljárásokra van szükség a nemzetközi terrorizmus elleni küzdelemben. A katonák számára is új kihívást jelent az elvakult öngyilkos merénylőkkel szembeni hadviselés, mely fizikailag és lelkileg is megterheli a szervezetüket. Éppen ezért lehet kiemelkedő fontosságú kutatási terület, hogy milyen pszichés tényezők, stressz és trauma érheti a katonát a harctéren. Hogyan lehet felkészülni a harctéri stresszre, fel lehet-e egyáltalán készíteni rá a katonákat, és milyen eszközökkel lehet enyhíteni azt a szorongást, amelyet a háborús övezetben átélnek.
Kulcsszavak: terrorizmus, harctéri stressz, aszimmetrikus hadviselés

1. Alapvetések a terrorizmusról és az aszimmetrikus hadviselésről

1.1. A terrorizmus jellemzői napjainkbani

A terrorizmus elleni harc problémáival foglalkozó hazai és külföldi szakértők 1972-től számolnak a nemzetközi terrorizmussal. Az 1972. évi müncheni nyári olimpiai játékokon a „Fekete Szeptember” elnevezésű palesztin terrorszervezet egy akciócsoportja megtámadta az izraeli olimpiai csapat szállását, majd több sportolót túszul ejtve a fürstenfeld-brucki repülőtéren tűzharcba keveredett a bevetett német rendőrökkel és katonákkal, akik öt terroristát lelőttek, hármat pedig elfogtak. A túszul ejtett izraeliek közül kilencen haltak meg a terrorakció során. Ez a tragikus esemény hívta fel a világ közvéleményének és a kormányok többségének figyelmét a terrorizmus óriási veszélyére és nemzetközivé válására (hiszen Németországban, a világ sportolóinak találkozóján, palesztin terroristák öltek meg izraeli állampolgárokat).

Lényegében ez a helyzet jellemezte a nemzetközi terrorizmus elleni küzdelemre való felkészülést 2001. szeptember 11-ig, a new yorki és a washingtoni, hatalmas áldozatokat követelő, al-Kaida terrortámadásig. A moszkvai színházban és a metróban, Csecsenföldön, Oszétiában, Beszlán

városában, a madridi pályaudvaron, Londonban, Egyiptomban, Szaúd-Arábiában, a Fülöp-szigeteken, Afganisztánban, Törökországban, Izraelben, Indiában és Indonéziában, valamint Afrika és Latin-Amerika számos országában. A 2001. szeptember 11-e után elkövetett, egyre nagyobb számú és egyre több áldozatot követelő terrortámadások világossá tették a haladó emberiség előtt az új típusú terrorizmus fokozódó veszélyét és az ellene történő határozott fellépés fontosságát, szükségességét. A haladó világ politikusai egyetértettek abban, hogy ennek a fellépésnek határozottnak, gyorsnak, összehangoltnak és eredményesnek kell lenni.

A múltban alkalmazott erők, eszközök és eljárások nem tudták meggátolni a nemzetközi terrorizmus akcióit és az újabb akciók előkészítését. Tehát új, jobban felkészült erőkre, új és hatékonyabb eszközökre, új és sikeresebb harci eljárásokra van szükség a nemzetközi terrorizmus elleni küzdelemben.

1.2. Az iszlám indíttatású terrorizmus

„Bizonyos, hogy nem minden muszlim terrorista, de ugyanannyira igaz az is - és ez az igazán fájdalmas - , hogy majdnem minden terrorista muszlim." Abdel Rahman al-Rashed vallástudós szavai ezek, de nemcsak emiatt, hanem az elmúlt évek fanatikus vallási merényletei miatt is meg kell vizsgálnunk a vallási (iszlám) indíttatású terrorizmust. A jelenkor legnagyobb fenyegetését a nemzetközi terrorista hálózat, az al-Kaida jelenti. Bár a terrorizmus elleni küzdelemben sok sikert ért el a világ, de meg kell, hogy állapítsuk, a hálózat még jelentős tartalékokkal rendelkezik, valamint a vezetők közül mind Oszama bin Laden, a szervezet vezetője, mind Omar Molla, a tálib rendszer vallási vezetője, továbbá al-Zavahirl, az al-Kaida második vezetője sem került a terrorelhárító csapatok kezére.

Az iraki háború hatása is kettősnek ítélhető meg, hiszen a háború kezdetén Amerika szövetségeseit megosztotta, továbbá új színteret teremtett a nemzetközi terrorista csoportoknak. A színtér azért jelentős változás a nemzetközi életben és terrorista világban, mert Szaddam Husszein, Irak korábbi elnöke tiltotta a kapcsolatok felvételét, most pedig Irak az egyik legfontosabb színterévé vált a terrorista támadásoknak. Az iraki háború előtt a nemzetközi harcosok vállalták az iraki területre történő beutazást, valamint a harcot a szövetségesekkel. A háború után a hatalomból kieső szunnita kisebbség és az azokhoz tartozó párt-, állami- és katonai vezető elit által szervezett ellenállás és aszimmetrikus hadviselés[ii] jelentette a legnagyobb kihívást. A háború befejezése után a síita területeken Muktada Szadr ajatollah fegyveres követői is ezt a harcmódot alkalmazták.

Összességében megállapítható, hogy bármennyire is sikerült az afganisztáni tálib rezsimet leváltani, s ezzel az al-Kaida ország szponzorát kikapcsolni, továbbá a terroristák kiképző bázisait felszámolni, az iraki hadsereget legyőzni, még mindig nem zárható ki teljességgel egy

nagyméretű, sok áldozatot követelő terrorista támadás a világ bármely pontján. Az iraki történések sikerei ellenére, megállapítható, hogy a terrorista csoportok, továbbá az ellenállók elszántsága növekedett, új bevetési területet, továbbá hitük szerint új „szent háborút""hirdetnek a világban. A szeptember 11-i események utáni küzdelem számos területre kiterjedt. Egységes stratégiát hirdettek meg az államok, példának okáért jó volt a bankrendszeri szigorítások elrendelése, de további feladatok vannak még ezen a részterületen is. Számos bank, még mindig a fekete pénzek, a szervezett bűnözői csoportok és a terroristák paradicsoma. A világ számos részén közel 60-70 bank még nem biztonságos, azaz melegágya a korrupciónak, a pénzmosásnak, az adók kikerülésének.[iii] Több szakértő további erősebb lépéseket sürget a csoportok elleni fellépést illetően. Ilyen szakértői csoport a Richard A. Clarke vezette is, ahol a következő fő pontokban fogalmazták meg a további teendőket:

- A terrorista tettekre, öngyilkos merényletre készülőket el kell fogni, vagy meg kell ölni.
- Az iszlám világ fontosabb országaihoz közeledni kellene, segítséget kellene nyújtani számukra és mindent meg kellene tenni, hogy a nemzetközi terrorista csoportok támogatását beszüntessék.
- Az USA elleni terrortámadások lehetőségét a saját területről ki kell tolni a külföldi területekre, továbbá ezen a területeken is folyamatos megalkuvás nélküli harcot kell folytatni a csoportokkal.
- A fegyveres erők, a belbiztonsági szervek, a hírszerző hivatalok képességeit úgy kell alakítani, hogy az előző három feladatra maximálisan megfeleljenek.[iv]

A fegyveres konfliktusok állandó résztvevőivé vált nemzetközi harcosok, – nemzetközi terroristák – a boszniai, a csecsenföldi, az afganisztáni, az iraki háború alatt tovább erősödtek. A háború számukra nemcsak lételemmé vált, hanem a tapasztalatszerzés, a kapcsolatok továbbépítésének színtere lett más nemzeti, nemzetközi terrorista szervezetekkel. Velük a pénzügyi forrásokat is számos esetben megosztották, támogatták a csoportok logisztikai-kiképzési-, propaganda-, ideológiai-, valamint toborzó feladatait.

Így a világ számos országából érkező csoportok, „összenőttek" egy globális, minden kontinenst átszövő világhálóvá, melynek vezetője, – Primus inter Pares[v] – az al-Kaida lett.

Legfőbb céljaikat számos szakértő rendszerezte már, álljon itt egy változat:

- A számukra nem megfelelő kormányok bukásának az előkészítése, leváltásuk.
- Egy diktatórikus, teokrata vallási fundamentalista irányítású rezsim létrehozása.

- Esetleg egy nemzetközi vallási fundamentalista teokrata kalifátus létrehozása, amely a történelmi iszlám uralkodási formáján alapul.
- A legradikálisabb elképzelés szerint pedig az egész világot uraló, kalifátus megvalósítása a cél.[vi]

Ebből egyértelműen adódik, hogy számukra az USA jelenti a legnagyobb ellenfelet, mert ő képes megakadályozni regionális, valamint világuralmi terveiket is. Forgatókönyvük szerint, – s sajnos megállapítható, hogy szimpatizánsaik száma milliós – először az iszlám szent helyeiről, később az iszlám országokból, kell elűzni a „hitetleneket", majd a harcot a nem iszlám országok területén is folytatni kell. A kisebbségekben élőknek azt ajánlják, hogy szubkultúraként ne integrálódjanak a társadalomba, hanem megtartva vallási, politikai, ideológiai különállásukat, az iszlám jogot tekintsék életük alapjának, ezzel is erősítsék az iszlám szervezeteket, támogassák a nemzetközi terrorista csoportokat adományaikkal, tagságot verbuváljanak közülük az akciókhoz, az alvó cellákhoz, továbbá pihenő helyet, menedéket adjanak szervezetük tagjainak. A csoportok további egymáshoz való kapcsolódását nemcsak a fegyveres konfliktusok, a vallás, de a nacionalizmus is felerősítette. A kezdeti fegyveres konfliktusokban a gyarmatosítók ellen pozitív szerepben, majd a nacionalista mozgalmakban az országok magukra találásának időszakában, a fegyveres mozgalmakban tűntek fel. Ma a szerepük az izraeli-palesztin, vagy az iraki konfliktus kapcsán hasonló. A nemzeti érzelmeket használják fel az adományok, a tagok toborzásánál, az akcióik reklámozásánál. Az iszlám világ számára az egyik legfontosabb fegyveres konfliktus volt a Szovjetunió fegyveres erői elleni küzdelem Afganisztánban, ahol a propaganda szerint, egy nem iszlám vallású ország megszállt egy iszlám országot. De ugyanez a metódus jelentkezik a csecsen harcosok körében is az orosz féllel szemben.

Más összefüggésben az állapítható meg, hogy a terrorista csoportok így tudják a további akcióikat finanszírozni, erőt gyűjteni. Azt is meg kell jegyezzük, hogy ugyan a csoportok a háttéralkuk következtében csak kisebb politikai hatást tudnak kifejteni a célországokra, de a társadalom befolyásolása, a terrorizmus elleni küzdelemre káros hatással van. Míg a szemlélő számára úgy tűnik az emberek „csak" a háború ellen, egy túsz életéért tüntetnek, valójában a nemzetközi terrorizmus csoportok akaratának megfelelően cselekednek, azaz hosszabb stratégia keretében az ő céljaikat szolgálják. A csoportok szempontjából ez fontos, hiszen a nemzetközi közvélemény bár elítéli a terrorista akciókat, mégis az ő érdekükben cselekszik. A közbeeső cél a befolyásolás, a propaganda mindenképpen az ő malmukra hajtja a vizet.

2. Az aszimmetrikus hadviselés és pszichológiai jellemzői

2.1. Az aszimmetrikus hadviselés

Az aszimmetrikus hadviselés az aszimmetrikus kihívásokhoz kapcsolható tevékenység, amikor a végrehajtók – legtöbbször saját életüket sem kímélve – hajtanak végre katonai akciókat, általában a magasabb technikai színvonalon álló féllel szemben. Az aszimmetrikus kihívások olyan nem hagyományos, vagy nem költséges ártó szándékú akciók, amelyek kivédésére nem készültek fel megfelelően (terrorizmus, a tömegpusztító fegyverek bevetése, vagy azokkal való fenyegetés és az információs hadviselés). Ezt tartalmazta az 1997-ben elfogadott amerikai Nemzeti Katonai Stratégia. Az aszimmetrikus hadviselés ennek megfelelően a nem költséges, egyszerű eszközökkel és módszerekkel végrehajtott – gyakran önfeláldozó – gerilla, partizán jellegű rajtaütéseket és egyéb akciókat magában foglaló tevékenységek köre.

Így a „gyengébb" technikai felszereltségű, a kevesebb kiképzést végrehajtó, általában megszállt területeken harcoló fél fegyvere, módszere a megszállókkal szemben. Ebbe a körbe tartoznak: az öngyilkos merényletek, a bombatámadások, a logisztikai-, vezetési pontok elleni akciók, a tisztek, a parancsnoki állomány elleni merényletek, az utánpótlási vonalak, szállítási útvonalak rombolása[vii], valamint az ellenség ellátásának, utánpótlásának akadályozása, egyéb akciókkal. Legtöbbször nagyon nehéz a felderítése, illetve alkalmazói nem tartják be a hadviselés előírásait. Irakban is számos alkalommal érte támadás a Szövetségesek katonáit polgári ruhákba öltözött katonáktól vagy civilektől. Az ilyen jellegű hadviselésre nagyon nehéz a katonák pszichológiai felkészítése, a védekezés is sok problémát hordoz magában, hiszen az erőszakos eseményekre lelki és mentális szempontból is igen megerőltető a készenlét kialakítása.

Az elmúlt évszázadok során számos olyan erőszakos és agresszív eseménnyel kellett szembenéznie az emberiségnek (I., II. világháború, terrorista merényletek, 2001. szeptember 11. stb.), melyre az állatvilágban nem találunk példát.[viii] Éppen ezért az agresszióval foglalkozó kutatások már régóta foglalkoztatják nemcsak a pszichológusok, hanem a biológusok, szociológusok és etológusok fantáziáját is. Agresszió alatt összefoglalóan olyan viselkedésformákat értünk, amelynek célja vagy eredménye a másiknak való kár vagy sérelem okozása. Etológiai értelemben az agresszió fogalmát a következőképpen értelmezhetnénk: az egy fajhoz tartozó egyedek az erőforrás birtoklásáért küzdeni kezdenek egymással[ix].

„Agresszió: támadó, erőszakos fellépés más személlyel szemben. Az analitikus irányzatok értelmezésében „más ember feletti hatalomra törő akarat", illetve a halálösztön megnyilvánulásai."[x]

Az agresszió irányával, típusaival, kialakulásának okaival kapcsolatos kutatások közül ki kell emelnünk az agresszió irányával foglalkozókat, melyek szerint az agresszió iránya háromféle lehet: irányulhat tárgyakra, emberekre vagy önmagunkra. Az önmagunk ellen fordított agressziót és indulatot, más szóval az öndestrukciót sokszor figyelmen kívül hagyjuk, pedig a pszichoterápiák kapcsán a szakember sokszor találkozik ezzel a jelenséggel. Felmerülhet a kérdés, hogy például egy vallási okokból elkövetett öngyilkossági kísérlet ugyanígy sorolható-e ebbe a kategóriába, hiszen egy öngyilkos merénylőt teljesen más motiváció mozgat, mint egy Európában élő, krízisben lévő és ezért meghalni akaró embert.

Érdekességként említenénk meg, hogy bár az agresszió az állatvilágban is meglévő jelenség, általában a létfenntartáshoz kapcsolható, míg az emberi agresszióra ez csak ritkán jellemző. Mayer (1986) csoportosítása szerint az etológiában a következő agressziótípusok figyelhető meg:

- ragadozó agresszivitás
- hímek közötti agresszivitás
- félelem szülte agresszivitás
- irritációs agresszivitás
- területvédő agresszivitás
- anyai agresszivitás
- célorientált agresszivitásxi

Az emberek esetében az agresszió már bonyolultabb fogalmat takar, hiszen mint ahogyan azt már a fentiekben említettük, nem mindegy annak iránya, illetve szándékossága. Rousseau A társadalmi szerződésben[xii] leírt elmélete szerint az ember alapvetően kedves jámbor lény, de a társadalom által létrehozott és magalkotott korlátok között nehezen találja helyét, így gyakran agresszív cselekedetekkel küzd ezek ellen.

Freud szerint azonban az emberrel együtt születik meg az Eros, az életösztön, illetve a Thanatos, vagyis a halálösztön. Freud elképzelése és elmélete alapján az agresszív törekvések tehát léteznek, ezért valamilyen formában a felszínre kell, hogy törjenek. Az a forma, amelyben az agresszió utat tör magának személyenként, személyiségenként eltérő. Van, aki a sportban találja meg a feszültség levezetésének módját, van, aki a nevetésben, humorban. Freud elmélete szerint az agresszív törekvések háttérbe szorítása erőteljes érzelmi feszültséget generál az emberekben, tehát a feszültség levezetése egyfajta katartikus élménnyel is jár.[xiii]

Az aszimmetrikus hadviselés pszichológiai háttere azonban jóval bonyolultabb, hiszen nem csupán Erosról és Thanatoszról, vagy létfenntartásról szól, hanem bonyolult szocializációs, vallási alapú, meggyőződésből elkövetett agresszív cselekedetekről van szó. Olyan emberek és csoportok destruktív cselekvéseiről beszélünk, akik pusztán vallási, ideológiai meggyőződésből, a médiát nagyon ügyesen felhasználva, és azzal pánikot keltve nemcsak fizikai értelemben okoznak halált, hanem a túlélőkben is mély traumát hagynak a különböző videofelvételeken és újságcikkeken keresztül.

A háborúk, melyek évszázadok óta színezik az emberi történelmet, mennyire tekinthetők agresszív cselekedetnek? Hiszen a harcoknak csak kis hányada robbant ki fajfenntartás vagy élelemszerzés céljából. Sokkal inkább a hatalomvágy és a terjeszkedés, területszerzés motiválta az uralkodókat, vagy valamilyen vallási elképzelés ösztökélte őket arra, hogy háborút indítsanak a másik fél ellen. Azok a személyek, akik a háborúkban harcolnak, vajon milyen motivációs bázissal rendelkeznek? Itt merül fel a következő igen fontos tényező: a neveltetés, a gyermekkori szocializáció, a vallás és ezek szerepe az agresszív viselkedésformák kialakulásánál.

Ha belegondolunk, az agresszió mindig jelen van az ember életében, már gyermekkorától fogva: a szocializáció folyamán a szülők számos akadályt és tiltást eszközölnek a gyermekükkel szemben, hogy a társadalmi elvárásoknak megfelelő felnőtt embert neveljenek belőle. Az agresszió tehát folyamatosan körülvesz bennünket, néha céltalanul lebeg mellettünk hétköznapjainkban.

A vallás és az ennek kapcsán kialakult életmódbeli és kulturális különbségek szintén évszázadok óta jelen vannak mindennapjainkban. *„A vallás átkos következménye, hogy további megoszlásokat eredményez egy amúgy is megosztott világban.”* (Egy második világháborús veterán)

A vallásnak tehát ambivalens szerepe van a világ életében, hiszen próbálja oldani az előítéleteket és a vallási csoportok közti különbözőséget, mégis különböző csoportosulásokat teremt.[xiv] Egyes elképzelések szerint, ha nem lennének a Földön különböző vallások, megszűnnének az előítéletek és a vallási okokból elkövetett mészárlások. A vallás nemcsak hit az azt gyakorló emberek számára, hanem kultúrájuk alapját is képezi, meghatározva ezzel az életvitelt és a hétköznapokat.

Csányi Vilmos szerint az állatvilágban fellelhető agressziótípusok némi módosítással az emberre is igazak lehetnek, de a létfenntartásért folytatott emberi agresszió igen ritka. Csányi a következőképpen csoportosítja az emberi agressziót.[xv]

1. ***Területvédő agresszió***: ez a fajta az agresszió a kutatások szerint már bölcsődében, illetve az óvodában is megfigyelhető, körülbelül kétéves kortól létezik.
2. ***Tulajdon és birtokbavételi agresszió:*** másfél éves kor körül jelenik meg először, ilyenkor az agresszió még nyílt, a gyermek nem leplezi érzéseit.
3. ***Kívülállókkal, behatolókkal szembeni agresszió***: minden ember az élete folyamán tartozik bizonyos csoportokhoz. Az adott csoport elképzeléseivel, normáival, működésével azonosulunk, egyet értük, így azokat a személyeket, akik nem tartoznak a mi csoportunkhoz, kívülállónak ítéljük meg, és ha úgy érezzük, hogy veszélyeztetik a mi csoportunkat, agresszív érzéseket táplálunk irányukba.
4. ***Agresszió a csoportban, rangsorban való előrejutásért:*** bizonyos mértékben egészséges ambíciókat takar.
5. ***Frusztrációs agresszió***: ha valamilyen cselekedetünkben frusztrálva vagyunk, a frusztrációt okozó akadály leküzdése agresszív színezettel rendelkezik.
6. ***Behatoló/határkitapogató agresszió:*** az adott helyzetbe, környezetbe újonnan érkező személy exploráló agressziója.
7. ***Autóagresszió:*** az agressziónk nemcsak tárgyak vagy személyek felé, tehát kifelé irányulhat, hanem befelé önmagunk ellen is. Ilyen például az, amikor a hatalom nélküli, cselekedeteiben akadályoztatva lévő személy tehetetlenségében önmagát kezdi emészteni.
8. ***Normatív, erkölcsi elv érvényesítő agresszió***: minden közösség, csoport, társadalmi egység igyekszik a saját elképzeléseit és akaratát érvényesíteni.

Más perspektívából nézve az agresszióval kapcsolatos kutatásokat két nagy részre bonthatjuk: az egyik Freud elképzelése, melyben az agressziót driveként értelmezi, tehát mint belső hajtóerőből, késztetésből fakadó tényezőt. Az agresszió, mint drive elméletek egyik alapja a frusztráció-agresszió hipotézis, melynek értelmében, ha valamilyen cselekedetünkben akadályoztatva vagyunk, keletkezik egy agresszív drive, mely arra késztet bennünket, hogy az akadályt okozó személyt vagy tárgyat megsemmisítsük. Vagyis, az agresszió egyfajta energia, amely egészen addig megmarad, amíg ki nem elégítjük. Ebből táplálkozik egy másik elmélet is, mely szerint, ha az agresszió egyfajta energia, akkor annak kielégítése katarzist is okoz. Kérdéses az, hogy ebben az agresszió-katarzis teóriában az agresszor által elkövetett tett esetleges szörnyű következményei, a látvány, melyet az erőszakos, agresszív viselkedésével okozott, mennyire fogják vissza az átélt katarzist.[xvi]

A másik kiemelkedő magyarázat az agresszív viselkedésre a szociális tanuláselmélet, mely Bandura[xvii] nevéhez fűződik. E szerint az elmélet szerint az agresszív viselkedés nem más, mint egyszerű utánzás.

A gyermek például látja szüleit, akik egyfolytában egymással vitatkoznak, majd az óvodában, iskolában ő is alkalmazza ezeket az otthon látott és tanult elemeket.

A szociális tanuláselméletre igen jó példa a következő eset, mely hosszú hónapokig keringett az interneten, amelyen egy alig négyéves kislány arról áradozott, hogy hogyan fogja majd öngyilkos merénylő édesanyját utánozni, ha felnőtt lesz.

„A Hamas palesztin terrorszervezet saját tévécsatornáján, az Al-Aqsán naponta többször is látható az a kis videofelvétel, amelyen az alig négyéves Duha édesanyját dicséri. Vagyis Reem Saleh al-Riyashit (†22), azt a nőt, aki három évvel ezelőtt első női terroristaként négy másik embert rántott magával a halálba, amikor felrobbantotta magát.

- Követni fogom anyát - szólal meg Duha vékony kis hangja, majd a kétperces kisfilm újra elkezdődik

- Anyu, mi az a kezedben? - kérdezi a pici lány, miközben az anyja robbanószereket erősít a szoknyája alá. Könnyes búcsút vesz és snitt.

Végül egy hatalmas robbanás, amely alatt egy palesztin dal szól: "Helyettem bombát hordasz, már tudom, azért, mert az értékesebb, mint én vagyok."

A megdöbbentő képsorok ezek után újabb jelenettel folytatódnak. A képsorokon Duha a családi szekrénysor fiókjait húzogatva, az egyikből egy dinamitrudat húz elő. Majd elszánt szemekkel a kamerába néz, és nagyon komoly esküt tesz:

- Az én szeretetem nemcsak szavakról szól. Én követni fogom anyukámat!

Az iszlám fanatikusok tudatosan nevelik a gyerekeiket is öngyilkos merénylőnek. Duha nemrég egy interjúban elárulta, büszke édesanyjára, aki most a paradicsomban van."[xviii]

Az emberi agresszió és erőszak tehát igen összetett mechanizmus, melyben szerepe lehet a tanulásnak is, a gyermekkori szocializációs folyamatnak, valamint ösztöneinknek egyaránt.

2.2. Az aszimmetrikus hadviseléshez kapcsolódó fogalmak

Visszatérve a terrorizmushoz és az aszimmetrikus hadviseléshez, mint az erőszak megnyilvánulásának gyakori formáihoz, a következő fogalmakat célszerű elkülöníteni:

Szimmetria:

- Azonosság, azonos alakúság, általában arányosság, rend az egyes részek között

Aszimmetria:

- A szimmetria hiánya részek között, vagy az egészben.
- „A háború más fajtája“
- „A legjelentősebb, hogy nem államok között folyik.“

Aszimmetrikus hadviselés:

- „A háború más fajtája“
- „A legjelentősebb, hogy nem államok között folyik.“
- Az eszközök nagyon korlátozott bevetése, a megcélozott hatások érdekében. /Martin van Creveld/[xix]. Egy másik megközelítésben: „Sok fenyegetés, kockázat határnélküli, és maghatározhatatlan a „cél, hatás, idő, hely” tekintetében, sem térben nem behatárolhatóak, exakt módon nem meghatározhatóak, és nehéz (ha egyáltalán lehetséges) legyőzni őket. /Curt GASTEYGER/. Elképzelése szerint: alapvetően egy olyan szituáció, amikor szignifikáns különbség van a bevetett eszközök, módszerek, erők és a motiváció területén, illetve az erőviszonyokban jelentős az eltérés. Más nézetek szerint ez a fajta hadviselés kis csoportok által, a túlerőben lévő fél ellen folytatott tevékenység, de lehetséges a hagyományos eszközökkel, túlerőben folytatott háborút is így nevezni. Más megközelítésben gerilla-, partizán-, vagy kis háborúknak is nevezik őket.[xx]

Az aszimmetrikus hadviselést alkalmazó fél:

- Egyszerű, gyakran szokatlan eszközöket alkalmaz igen nagy eredménnyel.
- Kihasználja a szembenálló fél erejét, mint annak fő gyengeségét.
- Arra törekszik, hogy minimális erőbefektetéssel maximális eredményt érjen el.
- Nincs szüksége nagy katonai erőre, bürokratikus parancsnokságra.
- Az alkalmazott kisméretű erők lehetővé teszik a gyors döntéshozatalt és a sikeres akciót.
- Nem szemtől-szembe veszik fel a versenyt, mivel nem rendelkeznek kellő katonai képességekkel.

Következtetések:

- Óriási erő-eszköz különbség a konfliktusban résztvevő felek, a harcoló felek között.
- A kisebbik fél katonai képességei annyira korlátozottak, hogy a katonai győzelmet csak hagyományos eszközökkel nem érheti el.
- Az ilyenfajta háború megvívásához gerilla harc, szabotázs, terror szükséges.
- A normák átlépése, elhagyása.
- A cél az ellenséget, a megszállót számos katonai eszközzel (köztük terrorista módszerekkel is) céljának feladására kényszeríteni.
- Minél inkább elhúzódik egy háború, egy fegyveres konfliktus, annál valószínűbb, hogy bekövetkezik az aszimmetrikus hadviselés.

- A győzelemhez az ellenség haderejét le kell győzni, területét el kell foglalni, a nemzet akaratát meg kell törni. Ezekből Irakban csak az első kettő valósult meg.

Az aszimmetrikus hadviselés politikai karakterét a következő jellemzőkkel adhatjuk meg:

- Erőszak.
- Államiság hiánya.
- Az erőszak monopóliuma privatizálódik.
- A harcolók-nem harcolók közötti különbség eltűnik.
- A háborúk és fegyveres konfliktusok a clausewitzi „abszolút háború"-hoz közelítenek.
- A morálról történő lemondás.
- Gyerekkatonák és öngyilkos női terroristák feltűnése.
- A megsemmisítés a cél.

Következtetések

- Az új típusú konfliktusok szereplőivel kapcsolatban a legfontosabb megállapítás az, hogy nincsenek érvényes szabályok, melyek egyrészt az államiság hiányából, másrészt a felkelők, terroristák által követett stratégiából következnek.
- Az első dimenzió a módszerekben és célokban jelenik meg.
- A második aszimmetria az erő területe, amely megmutatja, hogy a költségek tekintetében nagyon sokba kerül a felkelők elleni műveletek finanszírozása.
- A következő dimenzió az idő, amely szintén szignifikáns különbséget mutat a felkelők irányába. A pilóták kiképzése, a bevetésekre való felkészülés, a házilag készített robbanóeszközökkel szemben nagy hátrányban van ebben a dimenzióban.

2.3. A veszteségek[xxi]

Az Amerikai Egyesült Államok és Szövetségesei nagyon kritikusan tekintik a személyi veszteségeket. Lehetőleg a legkevesebb áldozattal kell a fegyveres erőknek a kitűzött célokat elérni. Az iraki háború tanulsága az, hogy a békeműveletekben más módszereket kellett volna alkalmazni az amerikai erőknek, vagy más csapatoknak átengedni a megszállt területeket. Ez nem következett be, így az amerikaiaknak több vesztesége van mára, mint a háború folyamán. A harccselekmények alatt 157 halottat (az amerikaiak 126 fő, a britek 31 fő), 495 sebesültet és 4 eltűnt személyt regisztráltak. **A jelenlegi veszteségek: 4538 fő halott, 43 993 fő sebesült.**[xxii] A hadműveletek időtartama alatt az RPG-7 kézi páncéltörő gránátvetőtől támadás

okozta a legtöbb veszteséget (32 halott – 11,5 %), a megszállás alatt a legtöbb problémát az öngyilkos bombamerényletek és a kézi légvédelmi rakéták okozták.[xxiii]

Az Egyesült Államok személyi veszteségei az eddigi háborúkban és bevetésekben			
Háború	**Időszak**	**Elesett**	**Sebesült**
I. világháború	1917-1918	53 402	204 002
II. Világháború	1941-1945	291 557	670 846
Koreai-háború	1950-1953	33 741	103 284
Vietnámi háború	1964-1973	47 414	153 303
Kuvait felszabadítása	1991	147	467
Bevetési terület	**Időszak**	**Elesett**	**Sebesült**
Grenada	1983	19	119
Panama	1989	23	324
Szomália	1992-1994	43	153
Haiti	1994-1996	4	3
Afganisztán	2002-2003	76	192
Irak	**2003-**	**157**[xxiv]	**495**
/Forrás: In: http://www.usatoday.com/news/world/iraq/2003-04-20-cover-usa_x.htm/ /Szerkesztette: Dr. Resperger István/			

1. számú táblázat

Az iraki hadsereg és a civil lakosság veszteségeiről csak becslések állnak rendelkezésre. Az iraki oldalon a halottak számát egyes források 13 000[xxv] és a hadifoglyok létszáma 7 300 fő volt. A civil áldozatok számát 1600-1800 halottban, (más források 1 252) és 5 103 sebesültben adták meg. Egy független amerikai szervezet 20 000 főben adja meg a katonai és 4 300 főben a civil áldozatok számát.

A tényleges haláleseteken túl azonban a túlélő katonák is gyakran vesztesei a háborúnak, hiszen az átélt szörnyűségek a későbbiekben visszatérhetnek álmok, gondolatok, alvás- és étvágyproblémák formájában: ezt poszttraumás stressz zavarnak (PTSD) nevezi a szakirodalom. A poszttraumás stressz szindróma a vietnámi háború után vált igazán elfogadottá, annak ellenére, hogy a második világháborúban a koncentrációs táborok túlélőinek 97 %-át zaklatják még a mai napig az átélt időszak szörnyű emlékei. A PTSD-t a következő tünetekkel jellemezhetnénk: általában az átélt trauma után hónapokkal jelentkezik, valamilyen hétköznapi stresszhelyzet váltja ki, melyet alvásproblémák, hangulatzavarok és étvágytalanság jellemez, így a pszichológusoknak a hadseregben fontos szerepe lehet abban, hogy az ilyen jellegű problémákkal küszködő katonák megfelelő ellátást kapjanak.

Összegzett tapasztalatok, tanulságok

A hadművelet tapasztalatait a következőkben lehet röviden összefoglalni:

- A „lefejező és sokkoló” csapások elérték kívánt céljukat, legtöbbször megtörték az iraki ellenállását. A precíziós fegyverek minél nagyobb arányú bevetése szükséges a

pszichológiai hatás eléréséhez, a nagyobb károk elkerüléséhez, valamint a kisebb személyi veszteség okozásához.

- A „hálózat központú hadviselés” folyamatos helyzetkép közvetítésével és vezetéssel lehetővé tette a csapatok nagyon gyors előkészítését a harcfeladatokra, a gyors támadásokra;
- A lakott települések, beépített területek, a nagyvárosok jelentős akadályt jelentenek a támadó számára továbbra is, hosszú elhúzódó harctevékenységet idézhet elő egyes körzetekben;
- A polgári ruhába öltözött fegyveres ellenálló csoportok az aszimmetrikus hadviseléssel sok veszteséget okoztak, az ellenük való küzdelemre a felkészítés hosszú időt igényel;
- A harci helikopterek (AH-64 Apache) bevetésének megtervezése, kiképzésük átszervezése szükségessé vált a sikertelen karbalai bevetés után;
- Az utánpótlási és szállítási útvonalak megtervezése, kiválasztása, valamint ezek védelme a gerilla-hadviselést folytató ellenség ellen fokozott védelmet kíván;
- A katonai műveletek befejezése után, teljesen más módszerekre és eljárásokra van szükség a konfliktus utófázisában. A civil-katonai kapcsolatok kiépítése, ápolása, a más kultúra, vallás, nemzetiség figyelembevétele szükséges a válság rendezéséhez. Az iraki példa is azt mutatja, hogy az adott terület megszállása, fegyveres erejének legyőzése még nem jelenti a konfliktus befejezését, az ellenállás megszűnését.
- A brit csapatok teljesítményét magas színvonalú professzionalizmussal, kevés emberveszteséggel, a környezeti károk elkerülésével, a térség vallási és a politikai erőinek stabilizálási törekvésével jellemezhetjük.
- A brit katonákra leginkább az aszimmetrikus hadviselés jelentett nagy pszichikai nyomást, hiszen a Genfi Konvenciótól eltérő, a nyugati kultúrában és civilizációtól idegen módszer feszültebbé tette a katonákat. A brit hadvezetés előnyére írható viszont, – ellentétben az amerikaikkal – hogy a harccselekmények után, nagyon gyorsan „nyílt sisakkal” mertek a területen járőrözni, és a lakossággal felvették a kapcsolatot. Az ő hadseregük jellegéhez hozzátartozik békeműveletekben a golyóálló mellény és a sisak kerülése a mielőbbi bizalom kiépítése céljából.
- A sokrétű feladatok a hagyományos értelemben vett békefenntartás a hadműveleti területükön, a harccselekmények, valamint a humanitárius segítségnyújtás xxvi, időben egymástól nem szétválaszthatóan kerültek végrehajtásra.

Befejezés

A terrorizmus és az aszimmetrikus hadviselés elleni küzdelem azt mutatja, hogy az ellenség általában nem rendelkezik sem saját országgal, sem saját kormánnyal. Nincs szervezett (reguláris alakulatokból álló) katonai ereje, nem visel egyenruhát, egyetlen kormánynak sem felel a tetteiért. És nem tart be egyetlen nemzetközi szerződést sem (nemzetközi jog, hágai és genfi egyezmények a hadviselésről stb.).

A háborúk összesített adatai alapján (lásd 1. számú táblázat) három fő következtetést vonhatunk le:

- A háborúk katonai végállapotát (Military Endstate) közel 100 napos művelettel be tudják fejezni a reguláris erők, bár a felvonuláshoz, átcsoportosításhoz hónapokra van szükségük. A politikai végállapot (Political Endstate) csak hosszú évek eredményeként érhető el a nemzetközi szervezetekkel és nem állami szervezetekkel együttműködve.
- Az amerikai bevetések aránya mutatja, hogy az európai, „Vénuszról érkező" országoknak növelniük kell telepíthető haderejük nagyságát, illetve a béketeremtő, békekikényszerítő és harci műveletekbeli alkalmasságukat, ha nem akarnak elmaradni a „Marsról érkező" amerikaiaktól.
- A precíziós fegyverek arányának szignifikáns emelkedése a hadviselés még pontosabb végrehajtását segíti elő.

A háborúk főbb adatai

	1991 Öböl-háború	1999 Koszovó	2002 Afganisztán	2003 Irak
Időtartam (nap)	43	78	76	26
Repülőgépek száma (db)	n.a.	538	n.a.	1 801
Bevetések száma (db)	109 876	37 465	n.a.	41 404
Csapásmérés (db)	27 000	14 006	6 500	17 200
Napi bevetések száma (db)	1500-2000	150-700	10-110	800-2000
Amerikai bevetés (%)	65	90	n.a.	91,1
Összes bevetett fegyver	265 000	23 000	22 000	29 199
Precíziós fegyver	20 450	8 050	12 500	19 948
Nagy pontosságú precíziós fegyverek (%)	8	35	56	68
Veszteség (db/%)	75/0,03	5/0,26	14	31

[Forrás: CLARK, W. K.: Amikor erőre van szükség: A NATO katonai válasza a koszovói válságra In: NATO Tükör 1999/2. nyár p. 15.; ZIEHRER, H.: Der Golfkonflikt p. 262.; In: www.globalsecurity.org/ military/ ops ; Operation Iraqi Freedom- by The Numbers Assesment and Analysis Division USCENTAF p. 9. Operation Iraqi Freedom Quick Facts In: www.invar.org.uk./ news-archive/ iraq/ quick-facts.htm ; Operation in Iraq First Reflection p. 24.

74

7. ábra

/Szerkesztette: Dr. Resperger István/

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] ALLPORT, Gordon: Az előítélet, Gondolat Kiadó, Budapest, 1977.
[2] ARONSON, Elliot.: A társas lény, Akadémia Kiadó Zrt., Budapest, 2008.
[3] BARTHA Lajos: Pszichológiai értelmező szótár, Akadémia Kiadó, Budapest, 1981.
[4] BURGER, K.- COOK, N.- KOCH, A.- SIRAK, M: What went right? In: JDW 30 April 2003 p. 20.
[5] CLARKE, Richard A.: Gegen die Krieger des Dschihad Der Aktionsplan CLAUSEWITZ, Carl von: A háborúról I. kötet. p. 37.
[6] COPERDY, G.: A Pivotal War In: Defense and Foreign Affairs Starategic Policy 2003 p. 4.
[7] CREVELD, Martin van: The Art of War: War and Military Thought, London : Cassell, 2000, ISBN 0-304-35264-0 (also New York : Collins/Smithsonian, 2005, ISBN 0-06-083853-1)
[8] CREVELD, Martin van : The Changing Face of War: lessons of combat, from the Marne to Iraq, New York : Presidio Press, 2006, ISBN 978-0-89141-901-3
[9] CSÁNYI V.: Agresszió az állatvilágban, Natura Kiadó, Budapest, 1986.
[10] DASSE, Christopher: Kleine Kriege - Große Wirkung. Wie unkonventionelle Kriegführung die internationale Politik verändert, Baden-Baden: Nomos 1999
[11] ELLIOT, M.: Lessons from the Rubble In: Time September 1, 2003 p.22.;
[12] FM 1-112 Attack Helikopters Operations Deepartmen HQ of The Army, Washington, 1997. amerikai doktrina HAMMOND, R.:Operation Iraqi Freedom Task Force 2-7 Infantry (Mechanized)
[13] HORVÁTH, Z: A koalíciós légierő alkalmazásának tapasztalatai az Irak elleni háborúban In: Új Honvédségi szemle 2003/11. / http://www.honvedelem.hu/cikk.php?cikk=14297/
[14] KŐSZEGVÁRI-RESPERGER: A terrorizmus elleni küzdelem katonai tapasztalatai Budapest, 2006. p. 50. ZMNE Egyetemi jegyzet
[15] Operation Iraqi Freedom Third Infranty Division (Mechanized) „Rock of the Marne" After Action Report Final Draft 12 May 2003 p.67.
[16] „Korruption, Geldwäsche, Steurparadise" térkép In: Le Mode Diplomatic: Atlas der Globalisierung p. 32.
[17] MÜNKLER, Herfried : *Die neuen Kriege.* Rowohlt, 2004, ISBN 3-499-61653-X.
[18] MÜNKLER, Herfried r: *Der Wandel des Krieges. Von der Symmetrie zur Asymmetrie.* Velbrück, Weilerswist 2006, ISBN 978-3-938808-09-2.
[19] Measuring Stability and Security in Iraq June 2008Report to Congress In accordance with theDepartment of Defense Appropriations Act 2008(Section 9010, Public Law 109-289) Section 2—Iraqi Security Forces Training and Performance In: http://www.globalsecurity.org/military/library/report/2008/iraq-security-stability_jun2008-02.htm letöltés ideje: 2009. 02. 20.
[20] MORDICA, G., J.: Phase Four Operations in Iraq and the RPG-7 In: www. Globalsecurity.org/iraq/operation
[21] RIDD, G: Protecting supply lines In: : Janes Intelligence Rewiew 2003 July p. 30-31.
[22] http://icasualties.org/Iraq/index.aspx 2009. 02. 20.
[23] www.washingtonpost.com/usfatalities; www.USATODAY.com 2009. 02. 21.-ei helyzet.
[24] Hans Krech: *Der Afghanistan-Konflikt (2002–2004). Fallstudie eines asymmetrischen Konflikts. Ein Handbuch.* In: *Bewaffnete Konflikte nach dem Ende des Ost-West-Konfliktes.* Bd. 15, Verlag Dr. Köster, Berlin 2004, ISBN 978-3895745409.
[25] Ismail Küpeli (Hrsg.): *Europas „Neue Kriege": Legitimierung von Staat und Krieg.* Hinrichs, Norbert, Moers 2007, ISBN 978-3-9810846-4-1.
[26] RTO/SAS-049 Specialist Team on Countering Terrorism-Final Report-Part 1 5-7 November 2002
[27] Combatting Terrorism, A Participants' Background Guide for the February 2002 NATO RTO Workshop
[28] KŐSZEGVÁRI TIBOR: A nemzetközi terrorizmus elleni harc katonai feladatai, Hadtudomány, 2002. március 3-14. oldal.
[29] News Letter No. 03-27, Oct 03, Center for Army Lessons Learned
[30] Joint Tactics, Techniques, and Procedures For Antiterrorism Joint Pub 3-07.2 17 Washington, 1998. 85 p.
[31] NETANJAHU, BENJAMIN: Harc a terrorizmus ellen, Alexandra Kiadó, Budapest, 1995. 165 p.
[32] ROSTOVÁNYI, ZSOLT: Mit kell tudni az iszlámról? Kossuth Könyvkiadó, Budapest, 1983. 239 p.
[33] ROSTOVÁNYI, ZSOLT: Az iszlám a XXI. század küszöbén Aula, Budapest, 1998. 498 p.
[34] TIBI, BASSAM: Vom Gottesreich zum Nationalstaat. Islam als panarabischer Nationalismus p. 12.
[35] Iraq Anlysis Rumsfelds War In: Janes Intelligence Review 2003/7. p.4-40.
[36] RIPLEY, TIM: Planning for „Iraqi Freedom" In: Janes Intelligence Rewiew 2003 July p. 8-11.
[37] Design for Military Operations The British Military Doctrine Army Code 71451 1996. p. 216.
[38] MOSELEY, T. Michael.: Operation Iraqi Freedom By The Numbers Assesment and Analysis Division USCENTAF 50 p.
[39] Operation in Iraq First Reflection Published by the Ministry of Defence UK JULY 2003. 52 p.
[40] HAMMOND, RALF: Operation Iraqi Freedom Task Force 2-7 Infantry (Mechanized) Doctrine and Collective Training Division Combined Arms and Tactics Directorate/Infantry School 45 p.
[41] MEY, HOLGER.: Network Centric Warfere In: Soldat und Technik 2003/2. p. 65-69.
[42] GOURLEY, SCOTT R.- RIDD, GRAYDEN: Tactical lessons for urban operations In: Janes Intelligence Rewiew 2003 July p. 38-41.
[43] FM 90-10 Military Operation on Urban Terrain Washington, 1990. 240 p.
[44] Operation Iraqi Freedom Third Infranty Division (Mechanized) „Rock of the Marne" After Action Report Final Draft 12 May 2003 250 p.

Interneten található anyagok jegyzéke

[45] Operation Iraqi Freedom Quick Facts In: www.iwar.org.uk./news-archive/iraq/quick-facts.htm
[46] http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/graphic/2008/03/25/GR2008032500711.html
[47] http://www.islamworld.net/
[48] www.dodccop.org/NCW/ncw.html
[49] www.globalsecurity.org.
[50] http://www.teror.gen.tr/english/organisations/html,
[51] http://www.teror.gen.tr/english/organisations/html,
[52] www. c3i.osd.mil/ncw/
[53] www.cnn.com/usfatalities;

¡ A terrorizmus fejezetrész forrása: KŐSZEGVÁRI-RESPERGER: A terrorizmus elleni küzdelem katonai tapasztalatai Budapest, 2006. p. 50. ZMNE Egyetemi jegyzet

ii Az aszimmetrikus hadviselés az aszimmetrikus kihívásokhoz kapcsolható tevékenység, amikor a végrehajtók – legtöbbször saját életüket sem kímélve – hajtanak végre katonai akciókat, általában a magasabb technikai színvonalon álló féllel szemben. Az aszimmetrikus kihívások olyan nem hagyományos, vagy nem költséges ártó szándékú akciók, amelyek kivédésére nem készültek fel megfelelően (terrorizmus, a tömegpusztító fegyverek bevetése, vagy azokkal való fenyegetés és az információs hadviselés). Ezt tartalmazta az 1997-ben elfogadott amerikai Nemzeti Katonai Stratégia. Az aszimmetrikus hadviselés ennek megfelelően a nem költséges, egyszerű eszközökkel és módszerekkel végrehajtott – gyakran önfeláldozó – gerilla, partizán jellegű rajtaütéseket és egyéb akciókat magában foglaló tevékenységek köre. Így a „gyengébb" technikai felszereltségű, a kevesebb kiképzést végrehajtó, általában megszállt területeken harcoló fél fegyvere, módszere a megszállókkal szemben. Ebbe a körbe tartoznak: öngyilkos merényletek, bombatámadások, logisztikai-, vezetési pontok elleni akciók, tisztek, parancsnoki állomány elleni merényletek, utánpótlási vonalak, szállítási útvonalak rombolása, valamint az ellenség ellátásának, utánpótlásának akadályozása, egyéb akciókkal. Legtöbbször nagyon nehéz a felderítése, mert alkalmazói nem tartják be a hadviselés előírásait. Irakban is számos alkalommal érte támadás a Szövetségesek katonáit, polgári ruhákba öltözött katonáktól, vagy civilektől. Az ilyen jellegű hadviselésre nagyon nehéz a katonák pszichológiai felkészítése, a védekezés is sok problémát hordoz magában. Lásd :BURGER, K.- COOK, N.- KOCH, A.- SIRAK, M: What went right? In: JDW 30 April 2003 p. 20.

iii „Korruption, Geldwäsche, Steurparadise" térkép In: Le Mode Diplomatic: Atlas der Globalisierung p. 32.

iv CLARKE, Richard A.: Gegen die Krieger des Dschihad Der Aktionsplan p. 13.

v Első az egyenlők között (latin)

vi CLARKE, Richard A.: Gegen die Krieger des Dschihad Der Aktionsplan p. 20.

vii RIDD, G: Protecting supply lines In: : Janes Intelligence Rewiew 2003 July p. 30-31.

viii BURGER, K.- COOK, N.- KOCH, A.- SIRAK, M: What went right? In: JDW 30 April 2003 p. 20.

ix CSÁNYI Vilmos: Agresszió az élővilágban, Budapest, Natura Kiadó, 1986.

x BARTHA Lajos: Pszichológiai Értelmező Szótár, Budapest, Akadémia Kiadó, 1981. p. 10.

xi CSÁNYI Vilmos: Agresszió az élővilágban, Budapest, Natura Kiadó, 1986.

xii ROUSSEAU, Jean-Jacques: A társadalmi szerződésről, avagy a politikai jog elvei Budapest, PannonKlett Könyvkiadó Kft., 1997.

xiii FREUD Sigmund: Esszék, Budapest, Gondolat Kiadó, 1982.

xiv ALLPORT, Gordon: Az előítélet, Budapest, Gondolat Kiadó, 1977.

xv CSÁNYI Vilmos: Agresszió az élővilágban, Budapest, Natura Kiadó, 1986

xvi FREUD, Sigmund: Esszék, Gondolat Kiadó, 1982.

xvii BANDURA, Albert: Szociális tanulás utánzás útján, Budapest, Gondolat Kiadó, 1976.

xviii Bajkó Panka, www.blikk.hu Letöltés ideje 2010. 03.16.

xx Lásd: MÜNKLER, Herfried: Die neuen Kriege. MÜNKLER, Herfried: Der Wandel des Krieges. Von der Symmetrie zur Asymmetrie.
DASSE, Christopher: Kleine Kriege - Große Wirkung. Wie unkonventionelle Kriegführung die internationale Politik.
CREVELD, Martin van: The Art of War: War and Military Thought,
CREVELD, Martin van : The Changing Face of War: lessons of combat, from the Marne to Iraq,

xxi A fejezetrész forrása: KŐSZEGVÁRI-RESPERGER: A terrorizmus elleni küzdelem katonai tapasztalatai Budapest, 2006. p. 50. ZMNE Egyetemi jegyzet

xxii 2009. 01. 12-ei helyzet. In : http://icasualties.org/Iraq/index.aspx 2009. 02. 20.

xxiii ELLIOT, M.: Lessons from the Rubble In: Time September 1, 2003 p.22.; Vö: COPERDY, G.: A Pivotal War In: Defense and Foreign Affairs Starategic Policy 2003 p. 4.

xxiv Mindösszesen 4538 fő halott, 43 993 fő sebesült azóta, hogy Bush elnök a nagyobb harccselekmények beszüntetését bejelentette 2003 05. 01-én az US Abraham Lincoln fedélzetén: „major combat operations in Iraq have ended" . Forrás: www.cnn.com/usfatalities; Vö: www.washingtonpost.com/usfatalities; www.USATODAY.com 2009. 02. 21.-ei helyzet.

xxv Forrás: Operation Iraqi Freedom Third Infranty Division (Mechanized) „Rock of the Marne" After Action Report Final Draft 12 May 2003 p.67.

xxvi 2003. 03. 28-án UM-QUASR kikötőbe 300 tonnás segélyszállítmány futott be a Sir Galahand hajó fedélzetén.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Révész Tamás

EGYES KOMPOZITOK ÉS A BELŐLÜK KÉSZÜLT SZENDVICSSZERKEZETEK TÖNKREMENETELI FORMÁI

Bevezető

A szálerősítésű kompozitokat igen széles körben használják a közlekedési járművek (hajók, személyautók, stb.), sporteszközök gyártásához csakúgy, mint a repülőgépiparban. A kompozit anyagok kifejlesztését az iránti igény követelte meg, hogy az alkatrészek viselkedése eltérő legyen a tér különböző irányaiba, mivel a terhelések is csak a legritkább esetben azonosak a tér minden irányába. Egyes irányokba nagyságrendekkel nagyobb merevség szükséges, mint másokba, ezáltal a homogén és izotrop anyagokat a kitüntetett igénybevételi irány(ok)ba megerősítést igényelnek, ez azonban a kevéssé igénybevett irány(ok)ban többletanyag felhasználását jelenti, ami a szerkezet tömegét növeli. A repülőgépiparban e tömegnövekedés különösen előnytelen, hiszen adott maximális tömeg esetén a szerkezet tömegnövekedése a szállítható hasznos teher mennyiségét csökkenti, ezzel együtt az üzemeltetési költségeket növeli. A kompozitok olyan szerkezeti anyagok, melyek egyes alkotóelemei (a beágyazó- és az erősítőanyag) meghatározott feladatokat látnak el. A merevebb erősítőanyag általában húzásra vagy nyomásra terhelt, míg a kisebb szilárdságú mátrix elsősorban a terhelésátvitelt, másodsorban az erősítőanyaggal való együttdolgozást biztosítja és ezen felül külső védelmet nyújt az erősítőszálaknak mechanikai, környezeti hatásokkal szemben. Ez a hatékony funkciómegosztás megakadályozza a társult szerkezetek gyors, hirtelen tönkremenetelét. Azért előnyös polimer beágyazóanyagú kompozitokat alkalmazni, mert az azt alkotó részek igen eltérő tulajdonságúak lehetnek, de a teljes rendszer egyesítheti ezen eltérő tulajdonságokat. Ezen társult anyagok a repülőgépgyártásban is egyre nagyobb teret hódítanak, és nem nehéz megjósolni, hogy részarányuk fokozatosan nőni fog.

Mint minden használati eszköz, így a kompozitból készültek is szenvedhetnek sérüléseket, melyek hatással vannak szilárdsági tulajdonságukra, és ez különösen kritikus a repülőgépek esetében. A szerkezeti anyagok meghibásodása mindig valamilyen külső igénybevétel hatására történik, mely fizikai vagy kémiai eredetű lehet. Az összetett szerkezetek legveszélyesebb meghibásodása a törés, melyet mindig megelőz a repedéskeletkezés és –terjedés. A tönkremeneteli formák ismerete arról ad információt, hogy az alkatrésznek milyen

terheléseket kell elviselnie. Mielőtt ezek bemutatására rátérnék, a társult anyagok általános jellemzőit veszem sorra.

1. KOMPOZITOK

A kompozitok olyan mesterségesen előállított, inhomogén, több összetevőből álló anyagok, melyeket azért hoztak létre, hogy a különböző, társított anyagok eltérő, előnyös tulajdonságait ötvözzék egymással. A kombináció eredményeképpen nyert anyagok könnyebb és jobb felhasználhatóságot biztosítanak.

Tágabb értelemben kompozitnak nevezzük azon anyagokat, amelyekben legalább két összetevő létesít fizikai kapcsolatot egymással, ezért mivel kémiailag nem keletkezik új anyag, az anyagok jól elkülöníthetően, eredeti fizikai és kémiai tulajdonságaikat megőrizve vesznek részt a kapcsolatban.

Szűkebb értelemben olyan mesterséges úton előállított anyagokat sorolunk közéjük, melyben a szilárdsági és szerkezeti tulajdonságok irányonként eltérőek, azaz anizotróp tulajdonságú anyag keletkezik. A kompozit olyan szerkezeti anyag, mely egy mátrix (beágyazó) anyag és egy szerkezeti erősítő vagy más néven teherviselő részelem (pl. szál, szövet) kombinációjaként keletkezik.

A társult anyagokkal kapcsolatban legfontosabb kritérium, hogy legalább két összetevő fizikai kapcsolatot létesít egymással, és az így keletkező elemban az alkotó részek előnyös tulajdonságai ötvöződnek. Dolgozatomban a polimer mátrix kompozitok sajátosságaival foglalkozok, melyek olyan többfázisú összetett anyagok, ahol a szívós mátrix és a nagyszilárdságú erősítőanyag közt kiváló adhéziós kapcsolat áll fent. A továbbiakban a kompozit kifejezés alatt ezen anyagokat értem[1].

Az epoxi, vinilészter és poliészter gyanták korlátozottan használhatók fel különböző szerkezetek előállításához, mivel a mechanikai tulajdonságaik kedvezőtlenek más szerkezeti anyagokkal, például a fémekhez képest. A könnyű formálhatóságuk ezzel szemben igen kedvező az összetett, bonyolult alakzatok kialakításához.

A megszilárdulva rideg mátrixokkal szemben például az üvegnek, aramidnak, bórnak igen nagy a húzó és nyomó szilárdsága, ám tömör formában nem jók a tulajdonságai. Ennek oka abban keresendő, hogy a terhelésnek kitéve a szerkezeten belül véletlenszerűen

[1] Ezen kívül léteznek fém-mátrix kompozitok, melyek egyre növekvő számban fordulnak elő az autóiparban, sokszor alumínium alapú mátrixok és szilikon karbid erősítőszálak alkotják, valamint kerámia-mátrix kompozitok, melyeket előszeretettel használnak különösen magas hőmérsékletnek kitett helyeken.

mikrorepedések keletkeznek, melyek az anyag repedését, törését eredményezik még azelőtt, hogy az elméleti szakadási pontjukat elérnék. Annak érdekében, hogy ez ne jelentsen problémát, ezeket az anyagokat nem tömb, hanem szál formában készítik, és a teherviselésben pedig szálkötegekbe rendezve vesznek részt. Igénybevétel hatására ekkor is megjelennek a mikrorepedések, ám így csak egy-egy szál esik ki a teherviselésből, mivel a szálak egymástól elkülönítve találhatóak, így a mikrorepedések nem tudnak nagy területre átterjedni. A szálaknak ilyen módon való kötegekbe rendezésével kedvezőbb tulajdonságú anyag kapható, mint maga a tömör anyag, ezen tulajdonság szálparadoxon néven ismeretes. A szál átmérőjének csökkenésével az üveg- és szénszálak szilárdsága jelentősen növekszik (főként a 10μm-nél kisebb tartományban).

Az erősítőanyagok (ami akár szál vagy szövet formájú, és többek között üveg, szén, grafit, aramid, bór alapú lehet) a mátrixgyanta, mint beágyazó anyag veszi körül, ennek feladata, hogy az erősítőelemnek határozott formát adjon. Az alkatrészt érő terheléseket ez a mátrix továbbítja az erősítőkre, és megvédi azokat a környezeti hatásoktól, a sérülésektől (pl. kopás), valamint javítja a szálak mechanikai tulajdonságát (pl. hajlítószilárdság).

1.1. A KOMPOZITOKAT ÉRŐ TERHELÉSEK ÉS TÖNKREMENETELI FORMÁK

Az alkatrészek sérülései - így a kompozitból készülteké is - alapvetően fizikai és kémiai okokra vezethetőek vissza. Az első csoportba tartoznak a mechanikai, hő, elektromosság, sugárzás vagy időjárás okozta, míg az utóbbiba a vegyszerekkel kapcsolatos sérülések. A továbbiakban a mechanikai eredetű károsodásokkal foglalkozok[2].

A terhelések felvételében a beágyazó- és az erősítőrész eltérő szerepet játszik, ennek megismerésére sorba veszem a kompozitokat érő erőhatásokat, mely húzásból, nyomásból, nyírásból, hajlításból, valamint csavarásból származhat.
A szerkezet húzószilárdságát az erősítőszál mechanikai merevsége adja, mivel ez jóval nagyobb, mint a beágyazó anyagé.

A nyomószilárdság érdekében a beágyazó anyag tapadási képessége és merevsége a számottevő, mivel a beágyazó anyag feladata, hogy az erősítő szálakat egyenesen tartsa, és megakadályozza azok deformációját, kihajlását.

[2] Itt kell megjegyezni, hogy a későbbikben említésre kerülő vizesedés során egyes poliészter- és epoxigyanták hajlamosak a víz felvételére, ezáltal szilárdságuk jelentősen csökkenhet, és csökken az üvegesedési hőmérsékletük (T_g).

Hajlítás során a fent felsorolt három terhelés egyidejűleg lép fel. Terhelés során a külső rétegek húzásra és nyomásra dolgoznak, miközben a réteg egymáshoz képest nyíródnak.

A nyíró igénybevétel a szomszédos rétegeket próbálja egymáson elcsúsztatni. Nyírás során a beágyazó anyag játssza a fő szerepet, mivel nemcsak jó mechanikai tulajdonságokkal, de a szálakkal való nagy adhézióval is rendelkeznie kell. Többrétegű kompozitok esetében a nyírással szembeni szilárdságok rétegek közötti nyírószilárdságnak (Interlaminar Shear Strength – ILSS) nevezik.

Az ILSS szintén kulcsszerepet játszik a csavaró terhelések felvételében is, ezen felül azonban a csavarószilárdság jelentősen javítható a rétegrend megfelelő kiválasztásával.

Összetett anyagok esetében az alábbi tönkremeneteli formák léteznek:

- szálszakadás (fiber break): akkor következik be, ha a fellépő húzás meghaladja a szál húzószilárdságát, általában erre méretezik az alkatrészeket. A tönkremenetelek közül ez a legkedvezőbb, mert az lehetővé teszi az erősítőszál szakítószilárdságának teljes kihasználását. Ha a kompozit a szálszakadás bekövetkezése előtt tönkremegy, az azt jelenti, hogy valamilyen hiányosság fedezhető fel a szerkezetben, mint például a túlságosan rövid szálak vagy az erősítőanyag és a mátrix közötti tapadás elégtelensége.
- mátrixtörés (ply splitting): nyomás hatására a beágyazó anyagon belül repedések jelennek meg
- szálkihajlás (microbuckling): akkor következik be, ha a nyomóerő mátrixtörést követően is fennmarad, és az erősítőszálak kihajlanak.
- szálkihúzódás: kis anyagvastagság esetén megnő a felületi nyomás (pl. furat mentén a palástnyomás hatására), ennek következtében fellágyul a mátrix, a gyanta folyáshatár fölé kerül, és ezt követően nem képes a terhelést a szálakra átadni.

Míg az előző tönkremenetelek rétegen belül zajlanak le, addig a rétegelválás (delamináció) rétegek között megy végbe. A rétegekkel merőleges irányú erőhatás következtében a rétegek közötti adhézió megszűnik, a rétegek elválnak egymástól. Ennek hatására a szerkezet szilárdsága jelentősen csökken. Közforgalmi repülőgépek egyik leggyakoribb sérülése a villámcsapás, mely szintén delaminációt okozhat.

A tönkremeneteli formák szorosan összefüggnek egymással, nyomás általi szálkihajlás esetén a szálvégek közepén jellegzetes vonalak keletkeznek, ám szorosan kapcsolódik a mátrixtöréshez és a delamináció hoz is.

Az 1. táblázat a fémek kifáradással szembeni viselkedését és sérüléssel szembeni toleranciáját hasonlítja össze a kompozitokéval.

A fémalkatrészek egyik jellegzetes tönkremeneteli formája az anyagfáradásos törés. Ismétlődő igénybevétel hatására mikrorepedés keletkezik az anyagban, a továbbra is fennálló terhelés hatására a repedés továbbterjed, és makrorepedéssé nő. A törés akkor következik be, amikor a szerkezet hasznos keresztmetszete annyira lecsökken, hogy már statikusan sem tudja a terhelést elviselni. Az anyag tönkremenetele tehát olyan időben ismétlődő terhelés hatására következik be, amely statikus terhelésként nem okozna feltétlenül tönkremenetelt.

Tulajdonság	**Fémek**	**Kompozitok**
Feszültség-alakváltozás viselkedés	Tönkremenetelkor kis fajlagos nyúlás	Tönkremenetelkor nagy fajlagos nyúlás
Környezeti hatások	Nem érzékeny	Páratartalom és hőmérséklet hatással van
Tönkremenetel oka	Fáradás, korrózió, feszültségkorrózió	Külső tárgy általi hatás, gyártási hiba
Kritikus sérülés fajtája	Törés	Delamináció
Kritikus sérülés oka	Húzás	Nyomás
Tönkremenetel előtti hibafelderítés	Általában vizuálisan	Roncsolásmentes vizsgálatok (vizuálisan nem felmérhető)
Tönkremenetel előrejelzése	Jó	Rossz
Tapasztalatok	Széleskörű	Nagyon korlátozott

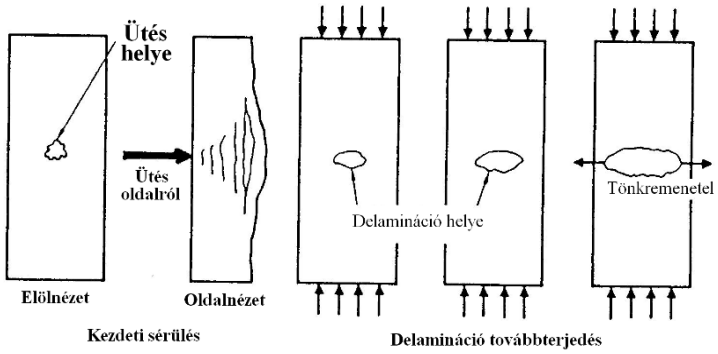
1. táblázat: Fémek és kompozitok összehasonlítása
Forrás: Michael C. Y. Niu: Composite Airframe Structure [10] figure 7.4.1

A kompozitokról általánosságban elmondható, hogy a fémeknél sokkal ellenállóbbak az időben ismétlődő húzó igénybevételekkel szemben. Ugyanakkor nagyon kevés olyan alkatrész van, amely csak tiszta húzást szenved el, a gyakorlatban sokszor nyomással, nyírással, csavarással párosul, és ez utóbbiak elviselése jelenti a kihívást a szerkezetek számára. Különösen igaz ez akkor, ha már előzőleg külső hatás nyomán sérülést szenvedtek, mint azt az 1. ábra is mutatja.

Kompozitokban a kifáradási vagy időtartam szilárdság elvesztése okozta törés a következő lépéseken keresztül zajlik le:

- repedéskeletkezés: feszültségkoncentráció (például az alkatrészen belül található légbuborékok környezetében) repedéseket okozhat, ha a beágyazó anyag belső adhéziója lecsökken, vagy az erősítőszál folytonossága megszakad.

- törésterjedés: a fémekben keletkező egy mikrorepedéssel ellentétben több is keletkezik, melyek folyamatosan nőnek és terjednek a beágyazó anyagban.
- húzó kifáradás: ez magában foglalja a törés kialakulását és terjedését is, akárcsak a fémek esetében. Amint a korábban keletkezett mikrorepedések összeérnek, a beágyazó anyag nem képes a terhelést a szálakra átadni, és bekövetkezik a törés.
- végső tönkremenetel: kompozitoknál a fémekkel szemben nem tiszta a töretfelület, hanem a szál és a mátrix sérülése, szálkihúzódás, rétegek deformációja jellemzi.

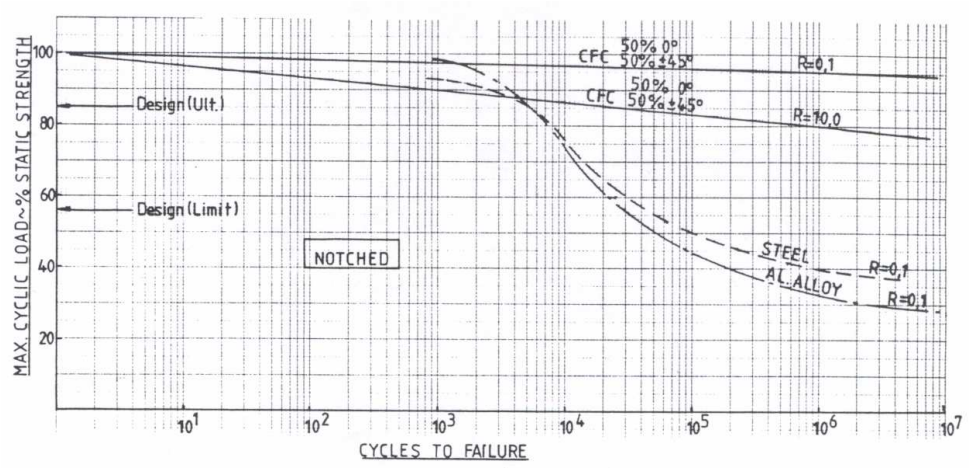


1. ábra: Delamináció továbbterjedése ismétlődő nyomóigénybevétel hatására
Forrás: Michael Chun-Yung Niu: Composite Airframe Structure [10] figure 7.4.2

Repülőgép-szerkezeteknél a fent leírt szilárdságvesztési folyamat a gyakorlatban nem zajlik le, mivel a gyártók által megadott szolgálati idő a törés előfordulását jelentősen megelőzi. A jelenlegi tervezési gyakorlatban nem szerepel az ismételt terhelésre való méretezés, sőt, kompozitok kifáradásával jelenleg nem is tudunk számolni. Az időtartam szilárdságot jelenleg törésmechanikai modellekkel számíthatjuk, ez a számítási módszer meglehetősen kiforratlan a fémek modelljeihez képest. A társult anyagok kifáradási jellemzőit megadó modell egyelőre nem létezik, csakúgy, mint a fémekéhez hasonló határfeszültségeket tartalmazó táblázatok (pl. Wöhler-féle anyagkifáradási görbe, Smith-féle biztonsági diagram) sem. Sérülésmentes laminátumok esetében nem is a kifáradás okozza a tönkremenetelt, sőt, társult anyagok esetében az terhelésszám növekedésével korántsem esik olyan mértékben a maximális feszültség értéke, mint fémeknél. A 2. ábrán látható kifáradási ábrán a kísérletbe vont szénszál-erősítésű kompozit próbatestek 0,1 %-ánál (R=0,1 – reliability) szinte alig történt változás, és a kompozit próbatestek 10%-a is jelentősen túlteljesítette az acél és alumínium próbatestek 0,1 %-a által kibírt feszültséget. Empirikus vizsgálatok alapján az Airbus Industry repülőgépgyártó vállalat méretezési alapelvei között lefektette, hogy a kompozit szerkezetek nem kifáradás érzékenyek. Ugyanakkor amint az a fenti ábrán látható, külső sérülés hatására

jelentősen változik a szerkezet terhelés felvevő képessége, ezért célszerű megvizsgálni, milyen folyamatokon keresztül hat a kompozit szerkezetre a kifáradás.

Az Airbus Industry által használt szilárdsági méretezési eljárás alapjául a tapasztalati úton nyert földi és légi statikus, valamint a manőverekből, széllökésből, koncentrált külső hatásokból származó dinamikus igénybevételek szolgálnak. Ezek alapján határozzák meg a szerkezeti elemek terhelési tényezőit és terhelési határait, melyekből a statikus szilárdsági követelmények származnak. A maximális terhelést a terhelési határ biztonsági tényezővel felszorzott értéke adja, amit a biztonság fokozása miatt egy újabb tényezővel szoroznak. Erre a terhelésre történik a méretezés. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy ha az alkatrész törése a 120 000-dik ciklusnál következik be, a gyártó 48 000 szolgálati ciklust engedélyez[3].



2. ábra: Szénszál erősítésű kompozit és fémek kifáradásának összehasonlítása
Forrás: Airbus Composite Engineering Course [15]

Az erősítőszálak sokkal jobb kifáradás-tűréssel rendelkeznek, mint a beágyazó anyagok, ezért az ilyenfajta szilárdságvesztés elkerülése érdekében a szálak dominanciája kívánatos. Ez a valóságban a minél hosszabb erősítőszálakkal valósítható meg. Egyirányú szövetek esetében az anyagfáradással szembeni ellenállás kimagasló, mivel a szálirányban ható időben változó igénybevételek a beágyazó anyagot nem terhelik túl.

A külső mechanikai hatások ugyanakkor jelentős kockázatot jelentenek a kompozitok időtartam szilárdságával kapcsolatban, mivel még egy viszonylag kis energiájú ütés is hajlamos delaminációt okozni. Egy elejtett szerszám előfordul, hogy a szerkezet felszínén semmilyen vagy nagyon csekély nyomot hagy, ám elképzelhető, hogy az így kialakuló mikrorepedések és/vagy a delamináció okozzák később az alkatrész tönkremenetelét.

[3] Airbus XSC3 Airbus Composite Engineering Course [15], Composite Structure Design – Design Protection

Az 1. ábra jól szemlélteti, hogy a társított anyagok milyen érzékenyek a külső mechanikai hatásokra. A repülőgépeken alkalmazott kompozit alkatrészeknek ezért megfelelő sérülés toleranciával (damage tolerance) kell rendelkezniük, nem szabad azonban elfeledkezni a könnyű építés elvéről sem, azaz a minimális tömeg mellett a lehető legnagyobb terhelésfelvétel képességről, és a szerkezeti hatékonyságról sem, melybe olyan szempontok tartoznak, mint a könnyű karbantarthatóság, javíthatóság, valamint a költséghatékony gyártás és üzemeltethetőség.

2. KOMPOZITOK SZILÁRDSÁGA

Az előzőekből látható, hogy a kompozitokat alkotó beágyazó anyagnak és az erősítőszálaknak együttesen kell a lehető legjobb tulajdonságot adni, hiszen ha csak az egyik résztvevő anyag is „hibázik" az igénybevétel során, a szerkezet tönkremegy. A részek tehát nem egyszerűen egymás mellett helyezkednek el, hanem szoros mechanikai kapcsolatot alkotnak, hiszen csak így képesek a legjobb együttes tulajdonságot nyújtani.

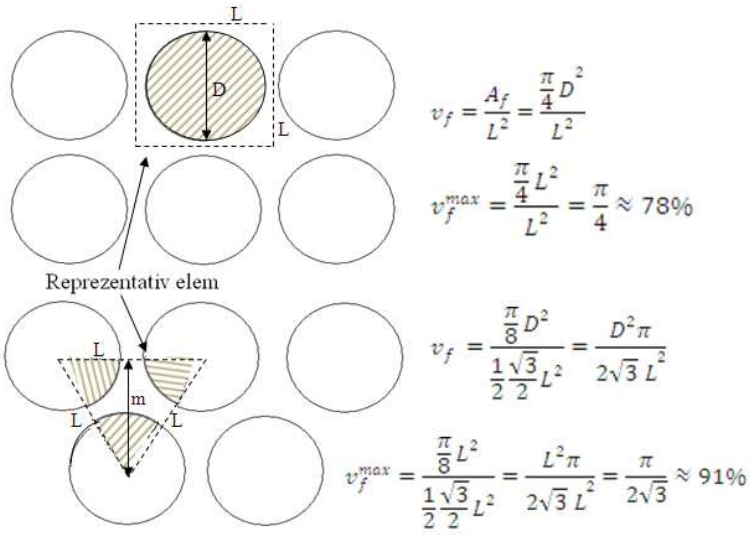
Ezért különösen fontos annak ismerete, hogy az összetevők jellemzői hogyan járulhatnak a kompozit anyag szilárdságához. A kompozit laminátok szilárdsági tulajdonságait az alábbi tényezők határozzák meg:

- a beágyazó anyag tulajdonságai
- az erősítő szál tulajdonságai
- a beágyazó anyag és erősítő szál aránya (szálhányad - Fibre Volume Fractions (FVF))
- az erősítő szálak geometriája és száliránya.

A szálhányadot (v_f) a gyártási folyamat határozza meg, ám az is közrejátszhat, hogy a szálak milyen beágyazó anyagban vannak, és, hogy milyen elrendezésben szerepelnek a kompozitban. Az alábbi ábrán a szálhányad elméleti maximumai láthatók különböző szálelrendezés esetén.

Az erősítőszálak mechanikai tulajdonságai sokkal kedvezőbbek, mint a beágyazó anyagéi, minél nagyobb a szálhányad, annál közelebb lesz a keletkező kompozit anyag mechanikai szilárdsága az erősítő széléhoz. A valóságban közel sem lehet az elméleti szálhányad maximumát elérni, hiszen, mint az a 3. ábrán látható, a maximális szálhányad feltétele, hogy ***L=D***, azaz, hogy a szálak mindkét szálelrendezés esetén egymáshoz érjenek, ami a valóságban igen nehezen valósítható meg. Ezen kívül a laminátum külső részén mindenképpen szükséges a többlet gyanta, mivel a szálak a gyanta védelme nélkül igen sérülékenyek. Ezzel együtt a repülőgépiparban alkalmazott magas minőség, valamint a más

iparágakhoz képest pontosabb, kifinomultabb gyártási eljárásokkal akár 70%-os szálhányad is elérhető. A szilárdság ugyanakkor az erősítő- és beágyazóanyag adhéziójával szorosabb kapcsolatot mutat, mint a szálhányaddal. Nagy szálhányad esetén a beágyazóanyag nem képes a feladatát (terhelésátvitel, szál védelem) maradéktalanul ellátni, így a szilárdság csökken.



$$v_f = \frac{A_f}{L^2} = \frac{\frac{\pi}{4}D^2}{L^2}$$

$$v_f^{max} = \frac{\frac{\pi}{4}L^2}{L^2} = \frac{\pi}{4} \approx 78\%$$

$$v_f = \frac{\frac{\pi}{8}D^2}{\frac{1}{2}\frac{\sqrt{3}}{2}L^2} = \frac{D^2\pi}{2\sqrt{3}\,L^2}$$

$$v_f^{max} = \frac{\frac{\pi}{8}L^2}{\frac{1}{2}\frac{\sqrt{3}}{2}L^2} = \frac{L^2\pi}{2\sqrt{3}\,L^2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \approx 91\%$$

3. ábra: Elméleti maximális szálhányad különböző szálelrendezés esetén

Ha ismertek az összetevők mechanikai tulajdonságai, akkor a kompozit húzás irányú szilárdságát egyszerű keverési szabállyal $\mathbf{E_1=E_f v_f+E_m v_m}$, míg a húzás irányára merőleges szilárdságot fordított keverési szabállyal: $\mathbf{E_2=1/E_f\, v_f+1/E_m\,(1-v_f)}$ kapjuk. Ezen képletek akkor igazak, ha a kompozitban a gyártás során nem keletkeznek rendellenességek (pl. légbuborékok), melyek rontják a mechanikai tulajdonságokat.

2.1. BEÁGYAZÓ ANYAG

Ezek olyan műanyagok, amik az erősítőanyagot körülveszik. A kompozit mátrixát (mint az előzőleg látható volt) igen változatos anyagok és részelemek képezhetik, mint például a fémek és azok ötvözetei, polimerek, vagy éppen keramikus anyagok. A nem természetes állapotban előforduló, azaz ember által gyártott gyantákat összefoglaló néven szintetikus gyantáknak nevezzük. Ezeket két fő csoportra bontjuk: léteznek a hőre lágyuló (Thermoplastic) és a hőre keményedő (Thermosetting) gyanták.

A Thermoplastic anyagok hő hatására lágyulásnak indulnak, és a hőhatás megszűnése után a lehűlés során ismét visszanyerik keménységüket. Ez a folyamat tetszőleges számban ismételhető anélkül, hogy észlelhető és figyelembe veendő hatás jelentkezne az anyagok szerkezeti vagy mechanikai tulajdonságainak tekintetében. Hőre lágyuló polimereket

általában rövid (1-5 mm hosszú) szálakhoz fröccsöntés vagy extrúzió során használnak mátrixanyagként.

A Thermosetting anyagok egy irreverzibilis kémiai reakció eredményeként folyadék halmazállapotból térhálós szerkezetű szilárd halmazállapotba kerülnek, és miután ez a folyamat lezajlott, többé már nem olvaszthatók meg, habár a hőmérséklet változtatása jelentősen befolyásolja mechanikai tulajdonságaikat. A térhálósodás során az agyag természetétől függően keletkezhet illékony melléktermék (léteznek olyan hőre keményedő gyanták, ahol nincs ilyen típusú melléktermék-képződés). A már végbement reakciót követően a gyanta nem vesz fel ismét folyékony halmazállapotot. Létezik azonban egy üvegesedési hőmérséklet (Glass Transition Temperature - T_g), melyet elérve jelentős változások következnek be az anyagi tulajdonságokban. Ez az üvegesedési hőmérséklet egy igen fontos jellemzője a gyantának, hiszen ez határozza meg, hogy milyen hőmérsékleti viszonyokat képes a kompozit szerkezet elviselni. Az üvegesedés tulajdonképpen azt jelenti, hogy a gyanta egy rugalmas fázisba lép, melynek hatására nem keményedik meg, hanem a benne lévő molekulák terhelés hatására változtathatják helyüket. Az üvegesedési hőmérséklet széles körben változik a gyanta sajátosságainak függvényében. Ide tartozik a kikeményedéshez alkalmazott hőmérséklet, és az adalékanyagok adagolási aránya, jelentősen csökken az üvegesedési hőmérséklet, ha a gyanta nagy mennyiségű vizet köt meg a térhálósodási folyamat során. A gyanta vízmegkötését vákuum és magas hőmérséklet alkalmazásával lehet megakadályozni.

Minden a kompozitoknál használt gyantának meg kell felelnie a következő követelményeknek:

- jó mechanikai tulajdonság: igen fontos, hogy a gyanta a terhelés hatására hasonló fajlagos nyúlást szenvedjen, mint az erősítő szál, hiszen csak így tudják a maximális terhelést elviselni.
- jó tapadási képesség: a gyanta és az erősítő szál közötti jó tapadás garantálja, hogy a gyanta a terhelést hatékonyan tudja az erősítő szálnak átadni.
- megfelelő keménység: a terhelés során a mátrixban keletkező repedések, törések annál kevésbé terjednek tovább, minél keményebb a gyanta. Általánosságban elmondható, hogy minél annál keményebb a gyanta, minél nagyobb deformációt képes elviselni mielőtt eltörik.
- környezet hatásainak való jó ellenállás: a gyanta ezen tulajdonsága biztosítja a kompozit hosszú „szolgálati idejét”.

Repülőipari alkalmazhatóságukat tekintve legelterjedtebbek a poliészter gyanták és az epoxigyanták, ha azonban a körülmények megkívánják hőálló gyanták használatosak.

A kompozitokhoz felhasznált poliészter gyanták telítetlen poliészterek. Háromkomponensű rendszert alkotnak a térhálósító anyaggal és a reakció beindításához szükséges iniciátorral. A poliészter és a térhálósító rendszerint már előre össze van keverve, ám ez az elegye önmagában nem indítana be keményedési reakciót – ehhez a teljes gyanta mennyiségéhez viszonyítva néhány százaléknyi mennyiségű iniciátor szükséges. Az iniciátor mennyiségével gyorsítani, vagy lassítani lehet a telítetlen poliészterek kötését, csakúgy, mint a munkahőmérsékletet, melyet a munkadarab mérete és alakja, illetve a telítetlen poliészter típusa határoz meg.
A poliészter gyanták jól felismerhető szaga évekkel a kikeményedésük után is megmarad. A legtöbb ilyen gyanta nyúlós állagú, színük fakó. Tárolására hűvös, környezeti hatásoktól és fénytől mentes hely szükséges. Amennyiben ez biztosított, úgy eredeti csomagolásban általában 3 - 6 hónap tárolási idő engedélyezett szobahőmérsékleten, vagy az alatti hőmérséklettartományban.
Bár a poliészter gyanták az utas- és teherszállító-, valamint a katonai repülőgépek gyártása során már nem alkalmazott anyagok, de továbbra is nagy jelentőséggel bírnak a könnyű- és vitorlázó repülőgépek esetében.

Az utas- és teherszállító repülőgépek esetében szinte kizárólag, míg a sportrepülőgépek gyártása során mind gyakrabban alkalmazzák az epoxi alapú gyantákat. Ezek térhálósodása a poliészter gyantákhoz hasonlóan hőfejlődéssel jár, és mivel meleg hatására a folyamat reakcióideje lecsökken, nagyobb mennyiségű gyanta (400-500 gramm) bekeverése esetén rendkívül lerövidül a fazékidő. Viszkozitásuk skálája is igen változó a hígan folyóstól a sűrű gyantáig, ezt a képződött láncok hossza határozza meg. Hígításuk csak speciális oldószerrel történhet, ami beépül a gyanták saját szerkezetébe. Egyéb hígítószer alkalmazása gátolja a gyanták teljes kikeményedését, és akár buborékképződést is eredményezhet, ami könnyen rétegszétváláshoz vezethet. Szakítószilárdsága a szálerősítéstől függően 100-1 000 MPa lehet. Hevítéskor megindul az üvegesedés, ezáltal maga a gyanta gumiszerű állagot vesz fel, ami igen komoly szilárdságcsökkenést eredményez.

A gyantákat nem alkalmazzák tisztán, hanem általában többféle adalékanyaggal elegyítik, javítva ezzel mechanikai tulajdonságaikat. Ilyen alkalmazott adalék lehet az égésgátló, a

különböző töltőanyagok (például a viszkozitás befolyásolására), vagy többek közt a flexibilizátorok (az anyag szívósságának biztosítására).
Általánosságban mind a poliészter, mind az epoxigyanták esetében alkalmazható az a hüvelykujj-szabály, hogy a hőmérséklet 10 °C-os növelése a teljes kikeményedési időt felezi. Az emelt hőmérsékleten történő kikeményedés ezen felül azzal az előnnyel is jár, hogy a végső mechanikai tulajdonságok kedvezőbbek lesznek, sőt, sok gyanta esetében hőkezelés nélkül nem érhető el a maximális szilárdság.

2.2. ERŐSÍTŐANYAGOK

Ezek szerepe az, hogy biztosítsa a kompozittól megkövetelt szilárdságot és merevséget. Repülőgépiparban általában szál jellegű anyagok kerülnek alkalmazásra - de léteznek ettől eltérő konstrukciók is, főleg a kisrepülőgép gyártásban. A szálas erősítés alkalmazását elsősorban a kompozit anyagok azon sajátossága indokolja, hogy a terhelés kitüntetett irányába biztosítson kiemelkedő szilárdságot és merevséget (anizotrópia), ami ezzel az erősítéssel jól kivitelezhető.

A szálas erősítést a fajlagos felületnövelés szükségessége indokolja. A terheléseknél látható volt, hogy a kompozit anyag tulajdonságaira döntő fontosságú az erősítőanyag és a mátrixanyag közti jó adhéziós kapcsolat, melyet az erősítőszál minél nagyobb fajlagos felületével lehet biztosítani. Adott térfogathoz viszonyított fajlagos felület felírható $\frac{A}{V}=\frac{2\cdot r^2\cdot\pi+2\cdot r\cdot\pi\cdot l}{r^2\cdot\pi\cdot l}$ formában, ahol ***l*** a szál hosszúsága, ***r*** a szál átmérője. Ebből kapjuk, hogy $\frac{A}{V}=\frac{2}{l}+\frac{2}{r}$, ennek a kifejezésnek keressük a maximumát. Ha ***l*** nagyobb, mint ***r***, akkor hosszú szálakról beszélünk, míg ellenkező esetben lapos korongok lennének. Az anizotróp tulajdonság az első esetben érhető el, azaz a lehető legkisebb átmérőjű erősítő szállal.

A szálak szilárdsága alapvetően meghatározza a kompozit szilárdságát. A szerkezeti műanyagokban különösen fontos a hosszú szálak alkalmazása, mert minél hosszabb a szál, annál erősebb a belőle készült szövet is. Speciális csoportot alkotnak a whiskerek, amelyek viszonylag rövid, de nagy merevségű szálak.

A leggyakrabban felhasznált erősítők az üveg, szén vagy aramid alapú szálak. Ezek jellemző tulajdonságait a 2. táblázatban a hasonlítja össze.

Az erősítő szálak száliránya igen fontos a keletkező kompozit mechanikai tulajdonságai szempontjából, mivel az erősítő szálak a legnagyobb igénybevételt szálirányban (húzás-nyomás) képesek felvenni, miközben a nyírást meglehetősen rosszul viselik. Ez vezet a kompozitokra jellemző anizotróp tulajdonsághoz, azaz az izotróp anyagokkal szemben a kompozitok irányonként eltérő mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek[4]. A társult anyagok ezen tulajdonsága mind a tervezés, mind a javítás során különösen fontossá teszi az alkatrészt érő terhelések nagyságának és irányának minél pontosabb ismeretét, hiszen csak ennek alapján méretezhetünk megbízhatóan. A pontos igénybevétel alapján megtervezett kompozit szerkezet igen kedvező tömeg tulajdonsággal bír, hiszen csak a fellépő terheléseket elviselő anyag kerül beépítésre, és ez az, ami a kompozitok igazi előnyét jelenti az izotróp anyagokkal (pl. a fémekkel) szemben.

Tulajdonság	Aramid	Szén	Üveg
Nagy húzó szilárdság	B	A	B
Nagy húzási modulus	B	A	C
Nagy nyomó szilárdság	C	A	B
Nagy nyomó modulus	B	A	C
Nagy hajlító szilárdság	C	A	B
Nagy hajlító modulus	B	A	C
Nagy ütőszilárdság	A	C	B
Nagy ILSS	B	A	A
Kis sűrűség	A	B	C
Nagy fáradási ellenállás	B	A	C
Tűzállóság	A	C	A
Hőállóság	A	C	B
Elektromos szigeteltség	B	C	A
Kis hőtágulás	A	A	A
Alacsony költség	C	C	A

2. táblázat: Aramid-, szén- és üvegszál összehasonlítása (A – jó B – közepes C – kedvezőtlen)

Szövési irányokat tekintve léteznek az egyirányú (Unidirectional), két-, három- vagy többirányú (Biaxial, Triaxial, Multiaxial) és a térbeli szövetek.

Az egyirágyú szalagokat lapos, egymás mellé fektetetett szálak alkotják, melyeket impregnáló gyanta tart össze. A fő teherviselő irány, amely irányban a legnagyobb a szövet szakítószilárdsága, a szalag hosszának irányába, azaz a láncirányba mutat. Így jelentős igénybevételt csak ilyen irányú terhelés esetén képes elviselni. Keresztirányban – vetülék

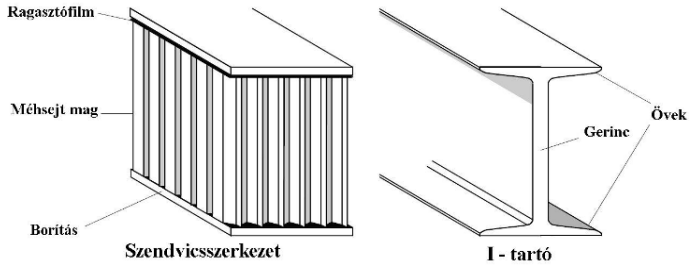
[4] Ezt a tulajdonságok a korábban bemutatott keverési és fordított keverési szabály is tükrözi.

irányban – is futnak vékony (üveg vagy nylon) szálak, de ezek leginkább csak az anyag könnyebb kezelhetősége érdekében. Általában ezt a szövésmódot prepregeknél alkalmazzák.

A két- vagy többirányú szövetek adott számú egymásra fektetett egyirányú szalagokból épülnek fel úgy, hogy a rétegek hossztengelye szöget zár be egymással. Egymáshoz valamilyen gyantával vagy varrással (varrva hurkolt) vannak erősítve.

3. SZENDVICSSZERKEZETEK

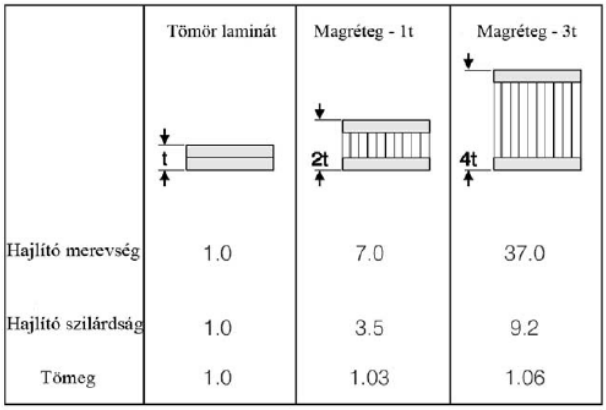
Az eddigiekben monolitikus, azaz csak beágyazóanyagból és erősítőből álló szerkezetekről volt szó. A műszaki életben azonban nem a húzással, hanem leginkább hajlítással találkozhatunk, mint fő igénybevétel, ezért is született meg – a természet analógiájára pl. csont – ez a merevítés. A szendvicsszerkezetet két, egymással párhuzamos, sík vagy görbült nagy szilárdságú lemez között elhelyezkedő kisebb szilárdságú, könnyebb anyag alkotja. Ez a szerkezeti forma nem csak kompozitokkal valósítható meg, hiszen a viszonylagosan egyszerű gyártási technológia, és a szerkezetekkel elért nagy hajlítómerevség miatt már jóval a kompozitok megjelenése előtt, a II. világháború idején is használták. A felhasználható anyagok sokszínűsége, változatossága miatt a szendvicsszerkezetek felhasználhatóságának köre igen tág.



4. ábra: Szendvicsszerkezet és I-tartó
Forrás: Hexcel: Honeycomb Sandwich Design Technology [13]

A terhelés felvétele az I-tartó analógiájára történik. főleg hajlításra igénybevett lemezek szélső rétegeiben ébredő. A mag és. A három rétegből álló mechanikai egység tehát nagy hajlító merevséggel rendelkezik. A hajlítás semleges szálától távol lévő borítás – akárcsak a tartó övei – nagy húzó- ill. nyomóerőket képes felvenni. Ezzel szemben a semleges réteg környéke – a tartó gerincéhez hasonlóan – sokkal kisebb mértékű nyírásnak van kitéve, ezért ezek szilárdsága, és ezzel együtt sűrűségük is jóval kisebb, mint a borításé. Ez a merevítési fajta különösen akkor előnyös, ha a borítóréteg rugalmassági modulusa kicsi, és önmagában nem képes a fellépő terheléseket felvenni, azaz a monolitikus szerkezet nem lenne eléggé ellenálló. A falvastagság növelése a tömeget és a költségeket is megnövelné. A

szendvicsszerkezetekben a maganyagok a borítórétegeket egyforma távolságban tartják egymástól, így viszonylag kis tömegnövekedéssel érhető el jelentős inercia-növekedés, ami a



3. táblázat: A szendvicsszerkezet mechanikája
Forrás: Honeycomb Sandwich Design Technology [13]

A hajlító merevség szempontjából azonban – akárcsak a monolitikus szerkezeteknél – különösen fontos a borítás és a mag közötti adhézió, és ez fokozottan igaz akkor, ha a szendvicsszerkezet nyomásra van igénybe véve. Ilyenkor a fedőréteg elválhat a magtól, ezért az ilyen szerkezeteket kihajlásra kell méretezni.

	Monolitikus szerkezet	**Szendvicsszerkezet**
Előnyök	takarékosabb üzembentartás alacsonyabb gyártási költség nagyobb energiaelnyelő képesség nincs vizesedési probléma lehetséges csavarozásos javítás	kedvező szilárdság/tömeg arány megfelelő csavarási szilárdság kiváló hőszigetelő kiváló akusztikai csillapító tulajdonságú
Hátrányok	szendvicsszerkezethez képest nagyobb tömeg szendvicsszerkezethez képest alacsonyabb szilárdság/tömeg arány csavarással és nyomással szemben megerősítést igényel	érzékeny a vízbeszivárgásra külső hatásokkal szemben igen érzékeny nagy gyártási költség csavarozásos javítása nem javasolt

4. táblázat: Kompozit szendvicsszerkezetek és monolit szerkezetek összehasonlítása
Forrás: Airbus XSC3 - Composite Engineering Course [15]

A maganyagok ezen kívül kiválóan alkalmasak a nedvesség-kondenzáció elleni védekezés egyik eszközeként, illetve járulékosan rezgés- és zajcsillapítóként valamint hőelvezetőként is használatosak. A maganyag természetes és szintetikus anyagokból készített kis sűrűségű anyag lehet, a repülőgépiparban manapság két fő típusuk, a töltőhabok és a cellás szerkezetű magok, a méhsejtek találhatóak meg.

3.1. SZENDVICSSZERKEZETEK TÖNKREMENETELI FORMÁI

Szendvicsszerkezetek tervezésekor az alábbi tönkremeneteli formák elkerülését kell figyelembe venni.

- Borítás nyomó tönkremenetele: a borításnak és a magnak képesnek kell lennie a húzó, nyomó és nyíró igénybevételek felvételére, a borítás és mag közötti adhéziónak pedig közvetíteni kell a két réteg közötti igénybevételt.
- Túlzott lehajlás: akkor szenvedi el a szendvicsszerkezet, ha nem megfelelő hajlító és nyírószilárdsággal rendelkezik. Ennek oka a mag és a borítás nem megfelelő adhéziójában, valamint a nyomásra nem megfelelően méretezett borításban keresendő. A túlzott lehajlás következménye lehet egy időben nem észrevett borítás-tönkremenetelnek.
- Panel kihajlás: akkor következik be, ha nem elég vastag a mag vagy a nyírási modulus kis értékű a nyomóerőhöz viszonyítva.
- Hullámosodás: a panel kihajláshoz hasonló körülmények között következik be. Kis vastagságú mag vagy kis értékű nyírási modulus esetén a nyomóerő hatására elnyíródik a maganyag.
- Borítás begyűrődése: akkor következik be, ha a borítás nyomási modulusa vagy a maganyag nyomószilárdsága nem elegendően nagy a szerkezetet érő nyomóerőhöz viszonyítva.
- Cellán belüli kihajlás: ez a tönkremenetel akkor alakul ki, ha adott borításanyaghoz képest a maganyag cella mérete nem elég kicsi, így lehetőség van rá, hogy cellán belül a borítás kihajoljon.
- Lokális benyomódás, horpadás: a maganyag nyomó szilárdságának megfelelően nagynak kell lenni, hogy ellenálljon a szendvicsszerkezet borítását ért külső dinamikus hatásnak (ütés). A lokális benyomódás sokszor delaminációval jár együtt, mivel ütés hatására a rétegek elválhatnak egymástól.
- Ragasztás felválás: a méhsejt és a borítás közti adhézió megszűnik, a borítás elválik a méhsejttől, és a szerkezet szilárdsága jelentősen csökken.
- Méhsejt vizesedés: a vékony borítású szendvicsszerkezetek (kompozit és lemezes egyaránt) tipikus sérülése, mely több okra vezethető vissza. A kompozit anyagok környezettel szembeni ellenállása igen kedvező, ugyanakkor üzemeltetés során a szerkezeten belüli víz megjelenés nagy károkat okozhat.

A kompozit szerkezetek esetében a gyanta nem alkot egységes felületet, apró rések vannak benne, melyekbe beszivárog a folyadék. Mivel a repülőgép környezeti hőmérséklete a különböző magasságokon eltérő, a beszivárgott víz megfagy, ez növeli a rés nagyságát, ezáltal még több víz szivárog be, ami újból megfagy, és a folyamat ismétlődése nyomán a rés egészen a méhsejtig elér. Ezt követően a méhsejt kezd vízzel feltöltődni.

A másik ok az lehet, hogy a nagysebességű repülés során keletkező nagy torlónyomás a levegőben található vízmolekulákat a vékony lemezen vagy a kis vastagságú (3-4 rétegű) laminátumokon keresztülpréseli[5].

Ez utóbbi tönkremenetel az, amely leggyakrabban okoz súlyos sérülést a közforgalmi repülőgépeken. A beszivárgó víz ugyanis súlyos szerkezeti károkhoz vezet, melyek jelentősen csökkentik a szerkezet szilárdságát. A szendvicsszerkezet mechanikai tulajdonságai nagyrészt a méhsejt és a borítás közötti kapcsolat erősségétől, annak állapotától függ. Jelenleg is folynak olyan repülőgép üzemeltetők által végzett kísérletek, melyek a borítás-méhsejt adhézió időtartam szilárdságának változására irányulnak. A már kitérhálósodott ragasztófilm az üzemeltetési hőmérséklettől, légnedvességtől függően elszíneződhet, és a hosszú, több hónapon át tartó vizsgálatok célja, hogy a ragasztófilm színe mennyire megbízható információt ad a szerkezet teherbíróképességéről. Egy ehhez hasonló vizsgálatot jól szabályozott környezetben lehet csak végrehajtani, ragasztónként külön színskála felállítása szükséges. Az így meghatározott spektrum aztán nagy segítségére lehet az üzemeletetőknek, akik így egyszerű, roncsolásmentes vizsgálat során győződhetnek meg a szerkezet mechanikai képességéről.

Befejezés

Napjainkban mind nagyobb és nagyobb teret hódítanak a kompozit anyagok a repülőiparban, hiszen ezen a területen különösen nagy előnnyel jár az anizitróp anyagok használata. A 2007-ben forgalomba állított Airbus A380 típusú repülőgép sárkányszerkezetének 26%-át adják kompozit anyagok (főleg szén-, üveg- és kvarcszál erősítésű kompozitok, de ezen a gépen használták először a GLARE-t, ami üvegszálas kompozit laminátum és alumínium lemezek együttese). A jelenleg is tesztelés alatt álló Boeing 787 Dreamliner típusú repülőgép tömegének 50%-át, az alkatrészeknek ugyanakkor 80%-át készítették kompozit anyagokból. E repülőgép érdekessége, hogy a törzse kompozit szekciókból épül fel, minden egyes

[5] Alumínium-lemezborítású méhsejtek vizesedése más okokra vezethető vissza. Egyik ok az lehet, hogy a kötőelemek és furataik közötti rés nem kellően szigetelt, és ezek mentén szivárog be a víz a magba.
A másik ok az, hogy a panelek szélein (bondline) a rések ugyan kitöltő gyantával szigeteltek, ám a napsugárzás és a rezgés hatására ezek megrepednek, és így már képes a víz keresztülszivárogni rajtuk egészen a méhsejtig.

törzsszekció egy darabból áll, ezzel mintegy 50 000-rel kevesebb kötőelemet kell egy repülőgép összeszerelésekor felhasználni. Ez számos egyéb ok mellett legfőképp a tömegcsökkenés, valamint a kedvezőbb aerodinamikai jellemzők miatti kisebb üzemanyag-fogyasztás okán kedvező az üzemeltetők számára.

Jelenleg azonban nem teljes körűen ismert a kompozit törzs hosszú távú viselkedése, mennyire sérüléstűrő a gyakorlati üzemeltetés során, ezért is óvakodtak többen is a kompozit törzs építésétől. Ez az oka annak, hogy először a hosszú távú járatokat teljesítő repülőgépek esetében használják fő szerkezeti elemek alapanyagaként a társult anyagokat, hiszen így viszonylag kisszámú ciklusidővel, de hosszú időszakról lehet tapasztalatokat gyűjteni. Az időszakos átvizsgálásokra érkező repülőgépeken nagy számban találhatóak felületi karcok, benyomódások, repedések, melyeket sokszor a földi kiszolgálás során (utaslépcsők, raklap-rakodók, stb.) okoznak. A jelenleg használt kompozit alkatrészek jelentős biztonsági tényezővel készülnek. A kompozitok, mint az látható volt, a terhelésekkel szemben az izotróp anyagoktól eltérő módon állnak ellent. Az anizitróp szerkezetű alkatrészeket nem kifáradásra méretezik, hanem jelenleg a tervezése során általában a nyomást veszik alapul az élettartamra történő méretezés során. A kutatások azonban olyan új anyagok megalkotásának irányába is folynak, melyek szilárdsági jellemzői meghaladják a jelenleg létező kompozitokét, így fő szerkezeti elemként is használhatóak.

A dolgozatban szándékosan nem esett szó a javításáról, nem szabad ugyanakkor elfeledkezni arról, hogy ez a tevékenység szorosan összefügg a terhelhetőség fenntartásával, esetleg annak növelésével. Ennek sikeres végrehajtásához elengedhetetlen a megfelelő anyagvizsgálati módszerek megléte, olyanoké, melyeket a már meglévő módszerek alapján vagy kifejezetten kompozit alkatrészek sérüléseinek elemzéséhez tökéletesítettek.

Egyelőre fejlesztési fázisban vannak az önjavító mechanizmusok, azonban némely eljárás esetében már történtek gyakorlati kísérletek. A hőre keményedő polimerek esetében önjavító eljárás történhet mikrokapszulákkal (microcapsule), üreges szál módszerrel (hollow fibre approach), termikusan reverzibilis térhálós polimerekkel (thermally reversible crosslinked polymers), termoplasztikus adalékokkal vagy láncátrendeződéssel. Némely eljárás még gyerekcipőben jár, ám vannak már közel évtizedes korú módszerek is, és a repülőiparban jelenleg az várható, hogy az üreges szál módszer terjed el szélesebb körben. Ez esetben ugyanis nem kell a beágyazó anyag szilárdságát csökkenteni, hanem célszerű az erősítőszálak belsejében elhelyezni az önjavításhoz szükséges folyadékot. A módszer akár a sérülések kimutatását is egyszerűsítheti, hiszen a szálakban tárolt folyadék külső hatás nyomán szétterjed a sérülés helyén, mely gyorsabb hibafeltárást tesz lehetővé.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Bagossy – Benedek – Toma: Repülőgép-szerelő anyag- és gyártásismeret, Műszaki Könyvkiadó, 1979
[2] Czvikovszky – Nagy – Gaál: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, 2000
[3] Doung – Wang: Composite Repair – Theory and Design, Elsevier, 2007
[4] Farkas Csaba: Kompozit sárkányszerkezetű repülőgép konstrukciók tervezésének, gyártásának és üzemeltetésének időszerű kérdései, Repüléstudományi Közlöny XX. évfolyam 2008. 2. szám
[5] Hiddon – Kaddour – Soden (editors): Failure Criteria in Fiber Reinforced Polymer Composites, Elsevier, 2004
[6] Lukács – Csomós – Gácsi - Karcagi – Magyar – Tomolya: Fáradásos repedésterjedés különböző típusú kompozitokban, Anyagvizsgálók Lapja, 2004/4
[7] Koncz – Magyarosi – Pusztai: Kompozitok és szendvicsszerkezetek - Repülőgép kompozit szerkezetjavító szakmai oktatási jegyzet, 2000
[8] Matzkanin – Yolken: Techniques for the Nondestructive Evaluation of Polymer Matrix Composites, The AMMTIAC Quarterly, Vol. 2, Number 4
[9] Donald H. Middleton: Composite Materials in Aircraft Structures, 1990
[10] Michael Chun-Yung Niu: Composite airframe structures, Conmilit Press Ltd., 1992
[11] Michael Chun-Yung Niu: Airframe structural design, Conmilit Press Ltd., 1988
[12] Gurit: Guide for composites
[13] Hexcel: Honeycomb Sandwich Design Technology, 2000
[14] R&G: Handbook – Composite Materials (Edition 8)
[15] AIRBUS: XSC3-Airbus Composite Engineering Course, 2009
[16] BOEING: Advanced composite repair for engineers, 1997
[17] Composite materials handbook, U.S. Department of Defense, 1997
[18] Aaron Charon Hot/Wet Environmental Degradation of Honeycomb Sandwich Structure Representative of F/A 18; Discouloration of Cytec FM-300 Adhesive, 2000
[19] http://www.muanyagesgumi.hu/archive/M352.pdf
[20] http://www.muanyagesgumi.hu/archive/M903.pdf

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Rolkó Zoltán

A REPÜLŐKIKÉPZÉS FEJLESZTÉSÉNEK IRÁNYAI, LEHETŐSÉGEI A HELIKOPTER ALEGYSÉGEKKEL SZEMBEN TÁMASZTOTT MEGVÁLTOZOTT FELADATRENDSZER KÖVETELMÉNYEINEK MEGFELELŐEN

A Magyar Honvédség harci és szállítóhelikopter alegységei jelenleg is a hetvenes évek közepén kifejlesztett szakutasítások szerint hajtják végre repülőkiképzésüket. A harcihelikopter zászlóalj a „Re-390 A Mi-24D helikopter harckiképzési utasítása", a szállítóhelikopter zászlóalj pedig a „Re-1320 A Mi-8 helikopter kiképzési utasítása szerint. E szakutasítások gyakorlatilag a korabeli szovjet repülőtiszti iskolák kiképzési anyagának fordításai, melyek a helikoptervezetők, valamint kisebb mértékben a gépszemélyzetek egyéb tagjainak szó szoros értelemben vett repüléstechnikai kiképzésére íródtak. E hangsúly mellett az alegységekre vonatkozó kiképzési követelmények, módszerek és eljárások elhanyagolható mértékben kapnak helyet. A RE-390 98. gyakorlata „A Század harctevékenysége összfegyvernemi egységek (magasabb egységek) érdekében, azok által végrehajtott harcfeladatok közben" például ezt a feladatot – mely az egyik legsokrétűbb és legbonyolultabb − elintézi fél oldalban.

Nem szerepel a szakutasításokban azoknak az eljárásoknak a leírása, melyek a helikopterek béke és békétől eltérő helyzetbeli alkalmazásával függenek össze. Nem szerepelnek bennük továbbá az elmúlt harmincöt-negyven év alatt megváltozott feladatrendszerek, a műveletekből levont tapasztatok, nem beszélve a megváltozott szövetségi rendszerből fakadó differenciákról, valamint a technikai fejlesztésekből adódó lehetőségekről.

A cikk célja, hogy felvázolja a megváltozott körülményekhez igazodó kiképzési prioritásokat, fő irányokat, módszereket, amelyek megfelelőek a Magyar Honvédség harci és szállítóhelikopter alegységeinek, valamint támogatják azok hatékony műveleti alkalmazását.

A KIKÉPZÉS HIÁNYOSSÁGAINAK OKAI

Doktrínális háttér

A bevezetőben említett szabályzatok kizárólag a gépszemélyzetek, alegységek repüléstechnikai kiképzésével, és továbbképzésével foglalkoznak. Az alegységek harcfeladatra történő felkészítését csak megemlítik, érdemben nem tárgyalják. Nincs tisztázva bennük a helikopter alegységek alkalmazása sem, magyarul nem ismert, hogy milyen műveleti feladatra jók például a földi célok elleni lövészetek. Nem volt tisztázható ez egyébként sem, hiszen a szabályzatok kiadásakor nem állt

rendelkezésre – és az óta sem áll – magasabb szintű harcszabályzat, doktrína mely meghatározta volna a helikopter alegységek alkalmazását. A nyolcvanas évek közepétől megjelentek ugyan a repülőfegyvernemek harcászati elveivel foglalkozó módszertani segédletek[1] (ugyancsak szovjet dokumentumok fordításában), ezek legalább az alkalmazási elveket lefektették. A módszerek és eljárások tekintetében viszont megálltak a hadtest, hadosztályszintű műveleteknél. A harcihelikopterek alkalmazását például ezredkötelékben határozták meg, ami irreális volt – és ma is az − a Magyar Honvédség számára.

A módszerek és eljárások nem lettek tovább bontva alegységekre, kisebb kötelékekre, valamint nem születtek meg az ezeket támogató egyéb szabályzók sem.

A NATO csatlakozás után kiadásra került Magyar Honvédség Légierő Doktrínában egy betű sem szerepel a helikopterek alkalmazásáról, kivéve egy-két másodlagos feladatot, például a kutatás-mentést. Szó sem esik a szárazföldi csapatok helikopteres támogatásáról, ami pedig a helikopter alegységek alaprendeltetésű feladatköre lenne. A Helikopter Műveletek Doktrína eddig nem került kiadásra (a szerkesztés 2006 februárjában megtörtént), melyben a NATO vonatkozó kiadványának[2] megfelelően meghatározásra kerülnének a helikopter alegységek szárazföldi csapatok érdekében végrehajtott feladatai. Más kérdés az, hogy a dokumentum figyelmen kívül hagyja a magyar sajátosságokat, így a meghatározott feladatok nem, vagy más formában felelnek meg a Magyar Honvédség igényeinek. A Mi-24 harcihelikopter esetében, ugyanakkor lényegesen sokrétűbb feladatrendszer is meghatározható lenne, ha a típus képességeit számításba vesszük.

Haderőnemi hovatartozás

A Magyar Honvédség helikopter erői, a nyolcvanas évek végétől kezdve – legalábbis formailag – három esetben szenvedtek el változást a haderőnemi hovatartozás terén.

A szolnoki és a szentkirályszabadjai helikopter egységek a Csapatrepülő Parancsnokság, majd a Szárazföldi Csapatok Parancsnokságának alárendeltségébe tartozott. Mindkét esetben a parancsnokságokon, egy eléggé nagy létszámú helikopteres törzs működött, mely azonban nem integrálódott szervesen a szárazföldi törzsbe, így a műveleti tervezési területen sem volt meg a kellő együttműködés. A helikopteres törzs a bevezetőben említett két szakutasítás alapján tervezte a repülőkiképzést, aminek nem sok köze volt a harcfeladat-orientált kiképzéshez, vagyis a szárazföldi csapatok igényeihez. Évente egy-két magasabbegység szintű gyakorlaton került csupán sor a szárazföldi csapatokkal történő együttműködésre, de ez az együttműködés a szovjet modell szerint hadosztály szinten valósult meg, a hadosztályok szervezetében működő légi összekötő csoport útján, egység és alegységszinten ebből az együttműködésből semmi sem volt érezhető. Nem kerültek megfelelően kidolgozásra és főleg begyakorlásra azok az eljárások, melyek a szárazföldi alegységek

[1] Re-1407 Front és hadseregrepülők harci alkalmazása 1986;
Re-1438 Repülőfegyvernemek harcászata IV. kötet, Front és hadseregrepülők harcászati alkalmazása az összfegyvernemi harcban (hadműveletben) 1988;

[2] ATP-49C Use Of Helicopters In Land Operations, Volume I-II (STANAG 2999).

előretolt repülésirányító pontjai[3] és a helikopter rajok, géppárok közötti kommunikációra szolgáltak. A délszláv válság idején ez a hiányosság olyan módon került kiküszöbölésre, hogy a szárazföldi erők készenléti alegységeihez, a harcihelikopter századok állományából delegáltak helikoptervezetőket, vagy helikoptervezető-lövészeket ERIP beosztásba, így biztosítva volt az együttműködés a helikopter kötelék és a készenléti zászlóaljak parancsnokai között. Erre az együttműködésre azonban soha nem került sor, sem gyakorlás, sem éles alkalmazás során. Nem is voltak az eljárások kidolgozva, valamint egyeztetve.

A kilencvenes években a helikopter egységek átkerültek a Légierő Vezérkar, majd a Légierő Parancsnokság alárendeltségébe. Ekkor átmenetileg szinte mindenféle kapcsolat megszakadt a helikopterek és a szárazföldi csapatok között. A szállítóhelikopter alegységek légiszállítási, ejtőernyős dobási és hasonló feladatait kivéve nem volt műveleti együttműködés a haderőnemek között. Még az évi egy-két gyakorlat sem került végrehajtásra, melyek során a helikopter alegységeknek alkalmuk lett volna az együttműködés gyakorlására. A szárazföldi csapatoknál pedig megszűntek a légi összekötő csoportok így megszűnt az egyetlen összekötő kapocs is, mely a szárazföldi egységek és a helikopterek között megvolt. A helikopter erők azonban nem illettek bele a klasszikus légierő hadrendjébe – nem véletlen, hogy más országokban általában a szárazföldi csapatok alárendeltségébe tartoztak. A légierő nem igazán tudott a helikopterekkel, főleg a harcihelikopterekkel mit kezdeni, így gyakran megfogalmazódott esetleges kivonásuk lehetősége.

A NATO csatlakozással némileg megváltozott a helyzet. A NATO műveletekben szolgálatot teljesítő szárazföldi és légierős állomány rájött arra, hogy a huszonegyedik század műveletei, különösen az aszimmetrikus hadviselés során, a helikopterek alkalmazása nélkülözhetetlen az összhaderőnemi műveletek rendkívül széles skálájában.

A helikopter alegységek szervezeti felépítése

A nyolcvanas évek közepén a helikopteres egységek ezred és század szervezetben működtek. A helikopter századok egy kis szakmai törzsből, a hajózó állományból, valamint a helikoptereket kiszolgáló műszaki állományból álltak. Később a műszaki állományt a repülő mérnök-műszaki szolgálat szolgálati alárendeltségébe helyezték, így a helikopterszázadok kizárólag a hajózó állományból álltak. Ez a rendszer – egy két és fél éves időszaktól eltekintve – a mai napig fennáll, csak a századokat közben zászlóaljnak nevezték át. Azért nem lehet az átnevezést átszervezésnek nevezni, mert a zászlóaljak nem kapták meg azokat a támogató és kiszolgáló elemeket, melyek képessé tennék a zászlóaljakat az önálló működésre. Nincs ezzel semmi baj, amíg a repülés repülőtéri körülmények között folyik. A helikopter alegységek legnagyobb előnye azonban a repülőtértől való függetlenség – ami egyben követelmény is − melyre azonban csak akkor van lehetőségük, ha megvan a szükséges mindenoldalú biztosításuk, tehát képesek önállóan előretolt műveleti bázisra[4] történő kitelepülésre,

[3] Előretolt repülésirányító pont – a továbbiakban ERIP.
[4] Előretolt műveleti bázis: Forward Operating Base – a továbbiakban FOB.

valamint képesek közbeeső leszállóhelyek[5] telepítésére és fenntartására. E képesség hiánya csak elméleti problémát okozott, míg Szolnokon és Szentkirályszabadján is működött helikopteres alakulat. A két repülőtérről, gyakorlatilag az ország minden része elérhető volt a helikopterek harcászati hatósugarán belül. Így például a szolnoki alakulat Szentkirályszabadjáról hajtotta végre lövészeti feladatait a hajmáskéri lőtéren. Hasonlóképpen a légi célokra történő éleslövészetet a harcihelikopter századok Szolnokra települve hajtották végre a nádudvari lőtéren. Így gyakorlatilag minden feladat megoldható volt alegységszintű település nélkül. 1988-2004 között a harcihelikopter századok egyetlen alkalommal, egy repülőharcászati gyakorlat keretében hajtottak végre kitelepülést Nagyvázsony körzetébe három nap időtartamra. Megváltozott a helyzet, mikor a MH 87. Bakony Harcihelikopter Ezredet felszámolták. Kiderült, hogy az egyetlen lőtér, ahol irányított rakétalövészetet lehet végrehajtani, csak kitelepüléssel érhető el, valamint az időközben egyre intenzívebb együttműködésnek köszönhetően, a szárazföldi csapatok gyakorlatain is csak így volt képes megjelenni a helikopter kötelék. Ezek összesen évi négy-hat kitelepülést jelent alegység szinten több mint két hónap távolléttel, nem beszélve a kisebb kötelékben végrehajtott településekről. Ezeknek a kitelepüléseknek a biztosítása nem alegység, hanem egységszintű feladat, vagyis a helikopter zászlóaljat meg kell erősíteni a bázis állományából. Ezzel csak az a gond, hogy a helikopter bázis biztosító elemeit nem erre a feladatra tervezték, így ha a zászlóalj települt, akkor a bázison nem volt elegendő biztosító erő. A haderő tervezésekor érthetetlen okból egységesítették a harcászati vadászrepülő alakulatot a helikopteressel, holott teljesen más a feladatuk, csak annyi bennük a közös, hogy mindkettő harci eszközei a levegőben tartózkodnak. Így katasztrofálisan alulméretezték a helikopter bázis kiszolgáló-támogató erejét, valamint az alegységeket megfosztották az önálló település képességétől.

Módszertani hiányosságok

A bevezetőben említett szakutasítások nagy hangsúlyt fektetnek az egyéni repüléstechnikai készség fejlesztésére, az egyes helikopter és a kötelék kiképzés folyamán. A kiképzési gyakorlatok kategorizálása kiképzési ág, helikopterek száma, napszak és időjárási viszonyok szerint történik.

Kiképzési ág szerint a gyakorlatok lehetnek:

- helikoptervezetési technika;
- helikoptervezetési technika műszerek szerint;
- repülés repülőtéren kívüli leszállóhelyen;
- összetett műrepülés;
- légitájékozódás;
- harci alkalmazás;

Helikopterek száma szerint:

- egyes helikopter;

[5] Közbeeső leszállóhely: Forward Arming And Refueling Point – a továbbiakban FARP.

- géppár;
- raj;
- század;
- ezred;

Napszak szerint:

- nappal;
- éjszaka;

Időjárási viszonyok szerint:

- egyszerű;
- bonyolult.

Ez a rendszer kiváló egy repülőiskola növendékének, minden benne van ami az egyéni repülési készség elsajátításához szükségesek. Az utasítások előírják, melyik manővert milyen paraméterekkel kell végrehajtani, mik az egyes gyakorlatok biztonsági rendszabályai. Van azonban egy nagy hiányosságuk. Nem szerepel benne a gépszemélyzeten és a kötelékeken belüli feladat és figyelemmegosztás rendje, a koordináció megszervezése. Hiányzik továbbá a feladat közbeni döntések meghozatalához, valamint a körülményekhez való alkalmazkodáshoz és a helyzetfelismeréshez szükséges segítség. Ez azt vonja maga után, hogy a helikoptervezetők csak az előírt paraméterekkel hajtják a gyakorlatokat, nincsenek rákényszerítve a feladat közbeni gondolkodásra, valamint a döntések meghozatalára. Ez azt eredményezi, hogy egy műveleti feladat közben a legjobb esetben is bizonytalan lesz a gépszemélyzet.

Nincs meghatározva egyetlen szabályzatban sem a helikopterek alkalmazása szárazföldi műveletekben, így nem szerepelhetnek sehol a műveletek tervezéséhez szükséges segédletek, eljárások, valamint módszerek, amelyek a sikeres műveletek kulcsfontosságú tényezői. Nincs egyértelműen leszabályozva a vezetés és irányítás rendje, az összekötőtisztek szerepe, eljárásai. Nincsenek meghatározva azok az eljárások, amelyek képessé tesznek, például egy különleges műveleti csoportparancsnokot, hogy azonnali beavatkozást kérjen a részére kirendelt helikopterköteléktől.

Technikai fejlesztések követése

A műveleti alkalmazhatóság érdekében a helikoptereken az alábbi fejlesztéseket kellene elvégezni:

Harci és szállítóhelikoptereken egyaránt:

- Navigáció:
    - integrált műholdas helymeghatározó[6]/tehetetlenségi navigációs rendszer[7];
- Műszeres repülési szabályok szerinti működés képessége:
    - ultrarövidhullámú rádióirányító[8]/távolság-meghatározó rendszer[9];
    - műszeres leszállító rendszer[10];

[6] Műholdas Helymeghatározó Rendszer: Global Positioning System – a továbbiakban GPS.
[7] Tehetetlenségi Navigációs Rendszer: Inertial Navigation System – a továbbiakban INS.
[8] Ultrarövidhullámú rádióirányító: Very High Frequency Radiocompass – a továbbiakban VOR.

- Éjszakai alkalmazás képessége:
    - éjjellátó berendezés/szemüveg[11];
    - NVG kompatibilis kabin és külső megvilágítás;
    - infravörös érzékelő berendezés[12];
- Kommunikáció:
    - szélessávú, titkosított rádió-berendezések;
    - műholdas kommunikációs berendezés[13];
- Azonosításra szolgáló berendezések:
    - saját- ellenség felismerő rendszer[14];
    - saját erőket követő rendszer[15];
- Önvédelmi berendezések:
    - radar besugárzásjelző[16];
    - rakéta közeledést jelző rendszer[17];
    - integrált infracsapda/dipól patron szóró konténer;
    - infrazavaró berendezés[18];
    - lézer besugárzásjelző rendszer[19];

Szállítóhelikoptereken:

- Önvédelmi berendezések:
    - tehertérajtóba integrált géppuskák;

Harcihelikoptereken:

- Célkereső berendezések:
    - integrált célkereső/megjelölő rendszer[20];
        - éjszakai televíziós rendszer[21];
        - gépszemélyzet éjszakai érzékelő berendezése[22];
        - lézer távolságmérő berendezés[23];
        - lézeres célmegjelölő rendszer[24];
        - FLIR.

---

[9] Távolság-meghatározó Rendszer: Distance Measuring Equipment – a továbbiakban DME.
[10] Műszeres leszállító rendszer: Instrument Landing System – a továbbiakban ILS.
[11] Éjjellátó berendezés/szeműveg: Night Vision Device/Goggle – a továbbiakban NVD/NVG.
[12] Infravörös érzékelő berendezés: Forward Looking Infrared –a továbbiakban FLIR;
[13] Műholdas kommunikációs berendezés: Satellite Communication – a továbbiakban SATCOM.
[14] Saját- ellenség felismerő rendszer: Identification Frien or Foe – a továbbiakban IFF.
[15] Saját erőket követő rendszer: Blue Forces Tracking System.
[16] Radar besugárzásjelző: Radar Warning Receiver – a továbbiakban RWR;
[17] Rakéta közeledést jelző rendszer: Missile Warning System – a továbbiakban MWS.
[18] Infrazavar berendezés: Infrared Jammer.
[19] Lézer besugárzásjelző berendezés: Laser Warning System – a továbbiakban LWS.
[20] Integrált célkereső/megjelölő rendszer: Target Acquisition Designation System – a továbbiakban TADS.
[21] Éjszakai televíziós rendszer: Low Light Television System – a továbbiakban LLTV.
[22] Gépszemélyzet éjszakai érzékelő berendezése: Pilot's Night Vision Sensor – a továbbiakban PNVS.
[23] Lézer távolságmérő berendezés: Laser Rangefinder.
[24] Lézeres célmegjelölő rendszer: Laser Designator – a továbbiakban LD.

– Fegyverzet:
    - levegő-levegő fegyverzet: IR rakéta, IGLA-V, vagy levegő-levegő Stinger[25];
    - modern páncéltörő rakéta: AT-9 Vihr, vagy Hellfire;
    - egyéb feladatorientált fegyverzet.

A fenti felsorolásból eddig egyedül az éjjellátó képesség valósult meg két Mi-17 szállítóhelikopteren. Ezt, és a remélhetőleg a jövőben megvalósuló technikai fejlesztéseket követnie kell a szabályzatoknak, nem csak a szó szoros értelmében vett repüléstechnikai kiképzésben, hanem az alkalmazás terén, vagyis új harcászati fogások kialakítása terén is.

A Mi-24 harcihelikopter speciális képességei

A Mi-24 harcihelikopter rendelkezik olyan speciális képességekkel, amelyek alkalmassá teszik a típust számtalan másodlagos feladatra, amelyek nem tartoznak a klasszikus harcihelikopteres feladatkörbe, de szükségesek az összhaderőnemi műveletek sikere érdekében. Ezeket a képességeket húsz éven keresztül figyelmen kívül hagyták a műveleti tervezők, így nem is kerültek kiaknázásra. A képességek a következők:

– Tehertér: képessé teszi a típust, terhek személyek, sebesültek szállítására, így, ha korlátozott mértékben is, de helyettesíteni tudja a szállítóhelikoptereket az ilyen típusú feladatokban;
– Géppuska rögzítése a tehertérajtókon: megnöveli a túlélőképességet, valamint alkalmassá teszi a típust harci kutató-mentő feladatok és különleges műveleti feladatok végrehajtására;
– Külső függesztmények szállítási képessége: a Mi-24V típusú helikopter képes 2,4 t terhet külső függesztményként szállítani, így alkalmazható szállítási és katasztrófavédelmi feladatokban egyaránt;
– Hermetizált, túlnyomásos kabin: a világon egyedülállóan képessé teszi a típust szennyezett területen történő működésre;

A KIKÉPZÉS IRÁNYAI A FELADATOK FÜGGVÉNYÉBEN

Az országvédelem, a békeműveleti feladatok, a szövetségi eljárások követése és az aszimmetrikus hadviselés követelményei határozzák meg a helikopter alegységek feladatait, melyekre a kiképzést tervezni kell. Első lépésként ezeket a feladatokat pontosan meg kell határozni, hogy a kiképzés tervezhető legyen:

A harcihelikopter alegység feladatai[26]

Elsődleges feladatok:

– az ellenség páncélozott és nem páncélozott harcjárműveinek, valamint élőerejének megsemmisítése;
– mélységi támadások végrehajtása, a szárazföldi csapatok hatókörének kiterjesztése érdekében;

[25] Levegő-levegő Stinger: Air-To-Air Stinger – a továbbiakban ATAS.
[26] MH 86. SZHB Szervezeti Működési Szabályzata valamint a MH 86. SZHB Állandó Működési Eljárásai, a szerző

- az ellenség megközelítési útvonalainak blokkolása;
- tűztámogatás;
- az ellenséges betörések megállítása;
- a manőverező, vagy álló erők szárnyainak védelme;
- a szárazföldi erők útvonalainak biztosítása;
- felderítés;
- fedező és biztosító feladatok.

Kiegészítő feladatok:

- légi mozgékonyságú és harctámogató műveletek végrehajtása, vagy biztosítása;
- kis sebességű és kis magasságú légi célok elleni tevékenység;
- harci kutató-mentő műveletek részfeladatainak végrehajtása;
- különleges műveleti feladatok támogatása;
- sebesült kiemelés / szállítás, illetve a kiemelést végrehajtó helikopterek oltalmazása;
- szükség szerint kutató-mentő, valamint életmentő feladatok végrehajtása;
- természeti csapások, ipari katasztrófák következményeinek felszámolásában való részvétel.

A szállítóhelikopter alegység feladatai[27]

Elsődleges feladatok:

- légimozgékonyságú, ezen belül kiemelten légiroham műveletek végrehajtása;
- légiszállítású műveletek végrehajtása;
- CSAR részfeladatok végrehajtása;
- sebesült kiemelés és szállítás[28].

Kiegészítő feladatok:

- állami kutató-mentő szolgálat ellátása;
- egészségügyi kiürítési[29] feladatok végrehajtása;
- légi szállítási feladatok végrehajtása;
- különleges műveleti feladatok támogatása;
- természeti csapások, ipari katasztrófák következményeinek felszámolásában való részvétel;
- VIP szállítási feladatok ellátása.

Ezek a feladatok teljes egészében lefedik a szárazföldi csapatok igényeit, valamint az egyéb követelményeket, melyek a békeműveleti feladatok során megfogalmazódnak a helikopter alegységek felé. A legfontosabb változás a kiképzésben az, hogy azt a mindenkori harcfeladathoz kell igazítani, a tervezéstől a végrehajtásig. Kulcsfontosságú a törzsek kiképzése, az adott harcfeladat tervezésében.

---

kiegészítésével.

[27] MH 86. SZHB Szervezeti Működési Szabályzata valamint a MH 86. SZHB Állandó Működési Eljárásai, a szerző kiegészítésével.

[28] Sebesült kiemelés és szállítás: Casualty Evacuation – a továbbiakban CASEVAC.

[29] Egészségügyi kiürítés – Medical Evacuation; a továbbiakban MEDEVAC.

Az amerikai hadsereg alap kiképzési kézikönyve[30] határozza meg a kiképzés és harcfeladat kölcsönhatását: „Train as you fight, fight as you train”, vagyis úgy képezd ki erőidet, ahogy harcolni fognak, és úgy harcolj, ahogyan a kiképzést kaptad. Ezt az elvet kell mindig szem előtt tartanai a kiképzés tervezésekor.

A DOKTRÍNÁLIS HÁTTÉR SZÜKSÉGES FEJLESZTÉSE

A helikopteres műveletek egyik ma élő doktrínában sem szerepelnek érdemben, sem a Magyar Honvédség Légierő Doktrínában, sem a Magyar Honvédség Összhaderőnemi Doktrínában, sem a Magyar Honvédség Szárazföldi Műveleti Doktrínájában. Mivel a helikopterek mindkét haderőnem alárendeltségében, illetve feladataiban tevékenyen részt vesznek, célszerű mind a légierő, mind a szárazföldi csapatok műveleti doktrínájában szerepeltetni azokat. Ez jobb megoldás, mint egy külön helikopter műveletek doktrína létrehozása, amit csak azok nem fognak elolvasni, akiknek az érdekében a helikopterek tevékenykednek.

Meg kell alkotni a harci- és szállítóhelikopterek műveleti kézikönyveit, harcszabályzatait, amiben meg kell határozni azokat a feladatokat, amire a kiképzésnek fókuszálni kell.

Helikopter alegységszintű kiképzési programokat kell kidolgozni, az alkalmazási elveknek, és harcfeladatoknak megfelelő tartalommal, meghatározott értékelési szempontokkal.

A repülőkiképzés okmányait folyamatosan fejleszteni kell az alkalmazási feltételeknek megfelelően.

A HADERŐNEMI HOVATARTOZÁS KÉRDÉSE

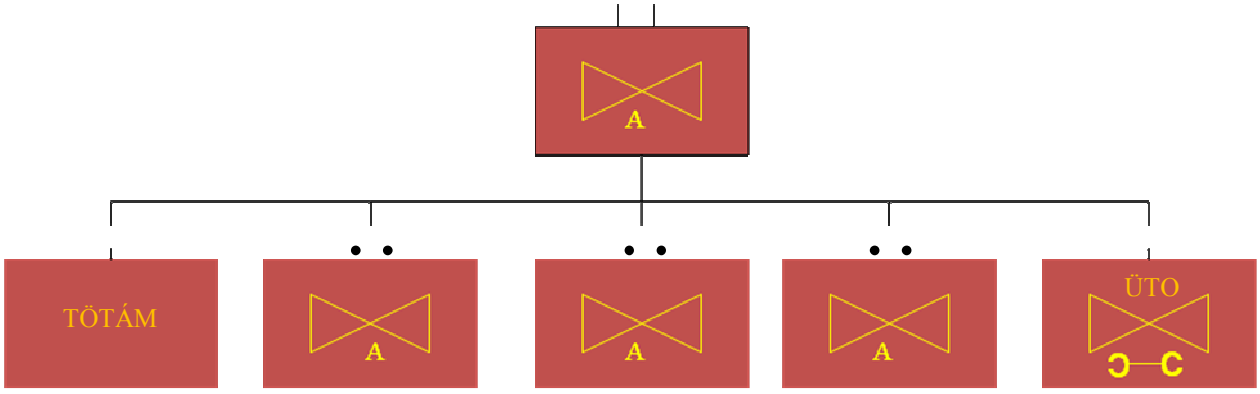
A Magyar Honvédség állományában, a helikopteres alakulatok az utóbbi másfél évtizedben – az Összhaderőnemi Parancsnokság megalakulásáig – légierő alárendeltségbe tartoztak, holott feladataiknak nagy része a szárazföldi csapatok támogatásának rendszerébe tartozik, sőt egyes esetekben azokat szárazföldi harcászati vezetés alatt hajtják végre. Gondoljunk csak a szárazföldi fegyveres készenléti szolgálatra, melyet a meghatározott könnyű lövész zászlóaljhoz átalárendelve hajtanak végre harci és szállítóhelikopter kötelékek. A MH ÖHP megalakulásával ez a kérdés szervezetileg okafogyottá vált, csupán a haderőnemi és a fegyvernemi sovinizmust kell legyőzni a sikeres együttműködés érdekében.

A HELIKOPTER ZÁSZLÓALJAK SZERVEZETI ÁTALAKÍTÁSA

A csak hajózó állományból álló alegység nem képes önállóan semmire, amit a harcfeladatok megkövetelnek. Az hosszú távon nem megoldás, hogy az elöljáró alkalomszerűen biztosítja a szüksége kiszolgáló és biztosító elemeket. Kiképzési szempontból pedig kiemelten fontos, hogy a kiszolgáló támogató elemek szervezetileg is a helikopter zászlóaljak állományába tartozzanak. Az alábbi ábra

[30] FM 7-1 Battle Focused Training.

körvonalazza a helikopter (úgy a harci- mind a szállítóhelikopter) alegységek szükséges szervezeti felépítését:



A törzstámogató század minimálisan a következő elemekből kell, hogy álljon:

- FP szakasz;
- Ellátó és szállító szakasz;
- Vezetésbiztosító és híradó raj;
- FRISZ raj;
- Vegyivédelmi raj;
- Tűzszerész raj;
- Javító raj;
- Egészségügyi raj;
- Meteorológiai részleg;

Ebben a szervezeti felépítésben a zászlóalj képes az önálló településre, valamint az ott végrehajtott huzamosabb műveletekre. Kiképzési szempontból így összeállítható olyan terv, ami lefedi a zászlóalj teljes tevékenységi spektrumát, könnyen értékelhető, és megfelelően rugalmas.

MÓDSZERTANI HIÁNYOSSÁGOK KIKÜSZÖBÖLÉSE

A repülőkiképzésbe be kell építeni azokat az elemeket, melyek súlypontja a gépszemélyzetek közös tevékenységének rendszerezése, szabályozása:

- a gépszemélyzet tagjai figyelem és feladatmegosztása a repülés minden fázisában;
- azokra a tevékenységeknek szabályozása, amelyek elvonják a gépszemélyzet tagjainak figyelmét a helikopter vezetésétől, például célkutatás, fedélzeti rendszerek üzemeltetése stb.
- még nagyobb hangsúlyt kell fektetni a repülés közben előforduló különleges esetek megoldására gépszemélyzet szintjén;

Kiemelt figyelmet kell fordítani a gépszemélyzetek helyzetfelismerési képességének fejlesztésére, szituációs gyakorlatok útján. A kiképzés ezen része megköveteli korszerű szimulátorok alkalmazását, amit minden típus beszerzésének részévé kell tenni.

A helikopter zászlóaljak törzseinek olyan kiképzési programot kell összeállítani, mely biztosítja az összes harcfeladat megtervezésének képességét, mind alegységtörzsben, mind összekötőtiszként szárazföldi törzsbe beosztva.

ÖSSZEGZÉS

A Magyar Honvédség harci és szállítóhelikopter alegységeinek hatékony műveleti alkalmazása megköveteli a kiképzés fejlesztését és a harcfeladatokhoz történő igazítását. A felvázolt szempontok közül némelyik költséges ugyan, de elengedhetetlenül szükséges ahhoz, hogy ezeket rendkívül hatékony és sokoldalú eszközöket megfelelően alkalmazzuk, kihasználva azok képességeit és kitolva korlátaikat. Át kell helyezni a hangsúlyt a repülőiskolás gondolkodásmódról, az alkalmazásközpontú megközelítésre. Ha így teszünk nem csak magasabb színvonalúvá, hanem költséghatékonyabbá is tehetjük kiképzésünket.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

[1] Re-390 A Mi-24D helikopter harckiképzési utasítása 1977;
[2] Re-1320 A Mi-8 helikopter kiképzési utasítása 1975;
[3] Re-1407 Front és hadseregrepülők harci alkalmazása 1986;
[4] FM 7-1 Battle Focused Training, Headquarters, Department of the Army, 2003;

Lajos Zoltan Sapi

OLD BUT USEFUL

The aim of all organisations, that let him employ people, who help the organisation's aims with their work to reach. They filter the candidates with suitability examinations because of this. The examinations are expected to be sorted out from the candidates. The examinations are made with different methods, but the aim until all of them the statement of the suitability! It is possible to predict the suitability only actually. It is possible to establish proving competent based on the candidate's completed work punctually only. The indicator that signals the efficiency of the examination is the validity of the examinations. The statement of the suitability trades like that this is very important where his failure presents a serious risk for the accomplishment of the work onto your human edge or material values.

The flying management serious and responsibility full trade. People life and serious material loss may depend on the successful accomplishment of the work. His ATCs ones applying for work it was selected thoroughly always. The ATCs training is regulated very in detail. The theoretical one and practical training happen through long and very hard exams. Only few people capable these expectations to accomplish.

Onto the ATCs' selection different methods were drawn up. The selection methods that are his real ATCs worked well the best a workplace was pretended. The candidate needs him for the real work in this simulation environment very much to execute similar tasks. They sort out the suitable candidates based on a performance showed in this simulation environment. Test like this AIRTEST V2.0 software.

AIRTEST V2.0 THE PRESENTATION OF SOFTWARE

AIRTEST V2.0 software an air traffic directing admission test. The aim of the test, that let him bring a similar work load to the real one onto existence, but some, that to the solution of the tasks let there not be need for precognitions from the flying management. The software constructing Szalontai Andrea Hungarocontrol colleague. 2001 are the times of creating the software. Because old this is the softwer! 9 years is a too long time world of sofwers!

The test consists of the undermentioned, tasks to be executed in parallel with with each other:

- The management of airplanes the computer displaying. The student says his instructions, which the person handling the computer program feeds into the machine with a mouse, verbally. The program measures his time spent on the air corridor without for the airplanes in

a second, and gives time-proportionate penalty points because of this. A minute is equal to 9 penalty points. The airplanes the screen, contrary may be lost inside the designate leaving area in a case until the end of the practice only they count as one outside.

- During the practice the listener from the computer's loudspeaker every minute four plain ones, but here and there thinking receives an arithmetic task. These has to prescribe his results for paper. For a wrong result 4 penalty points, 3 penalty points are the reward for an omitted answer.
- Likewise during the practice the computer displaying visible telephone buttons random interval they catch fire and the program indicates that a call arrived with whistling. He receives 2 penalty points if the keyboard does not acknowledge the call until the 10 seconds keeping silent with pressing the number button of an equivalent. If he gives a receipt for it, but beyond 5 seconds, 1 penalty point is due then.
- The student has to notice it before the starting of the test one six letter, meaningless code, and it on the end of the test up is needed, let him quote it and has to write it in the field which can be seen on the visualizing one on the end of the test. The program gives 2 penalty points for all letters, which he remembered badly.

It is necessary to do the examination two times 15 minute times with a difference. The calculation of the result starts from scratch, and at what the listener obtains fewer penalty points, it better his result. On what two examinations as a separate result number one. The reference was had ones 115 established it in a penalty point based on 89 of the author's air traffic control examinations. It regards the suitability of listeners reaching more penalty points at this as questionable one. I have to observe that this test is only an element of the selection process in the selection here. His very important part, but not his sufficient part!

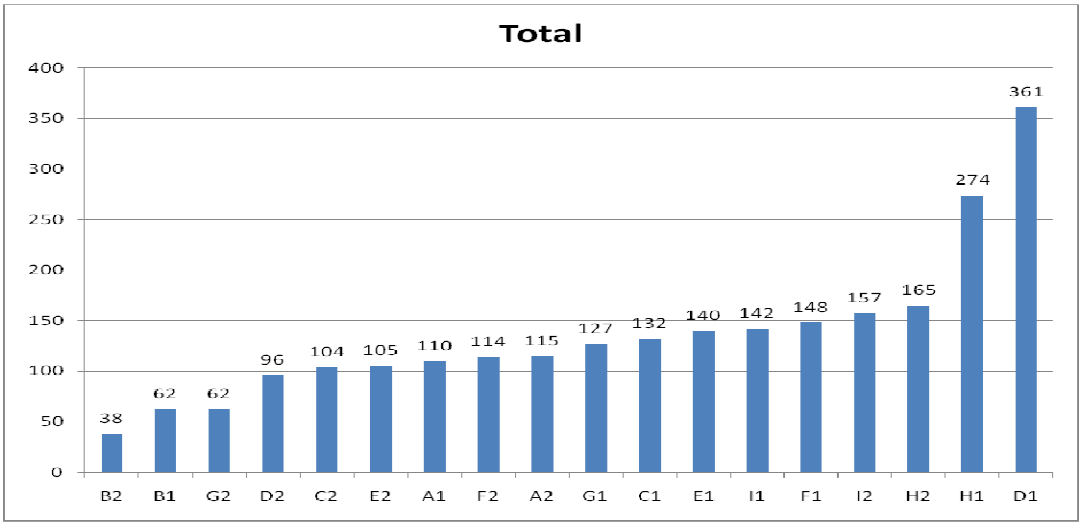
The results of the examinations

Nine thirds I examined a year military air traffic control student with this software. I looked for the answer for it in order whether the results attained in the test should justify it the practical radar achieved results in a simulation. His nine air traffic control software examinations occurred before it before it was started the radar would be simulation practices. It was the initial hypothesis that it is the students, who figures in the test well for it well has to act the radar on simulation practices.

The inferences nearly 40 hours of radar I deducted it after the accomplishment of simulation practice. The students radar on simulation practices truth to the assessment of their performance I asked for the vocational opinion of my 3 colleagues teaching the ATC. Four tutorial opinions set on his basis so the students radar simulation practice.

I summarized the results of the measurements in a table:

1. diagram



The 1. diagram shows the value measured based on the two measurements. Letters signal the students my mouth signals their result gained on top of the column. I established the successors based on the measured results. The 115 accurate penalty points border from 18 measurements 9 measurement results exceed it. From 9 listeners 7 listeners the one on the limit value or under it understands a result at least one times. 7 listeners reached a performance above the limit value at least one times.

Inferences the test based on results

2 of his suitabilities keeping silent are questionable based on the results of the test. If I interpret it narrowly the test results, so who stepped over the margin of error once, only 2 answered questions on 9 students then and 7 of his suitabilities keeping silent questionable. If I interpret it widely, so who the criterion accomplished it once level 115 penalty points you are under it accomplished, 7 students proved his suitability then.

The creator of the test it criterion claimed that all two are the result of the test examination you are 115 penalty points under it it is essential that he should be. Only two students reached the criterion of the suitability based on this.

The radar the expectations of simulation practice

The radar simulation practices the expectations of a basis opposite the students it, that let them be capable of the end of the practices onto the management of 4 airplanes, from among which 3 airplanes flying is by a route, finally 1 airplane a radar circle flies in MCTR. The sudents has to be capable of the identification of the airplanes, gives a position reports and traffic informations for the pilots and

radar vektoring on the route and the radar circle. He has to gives all necessary information, which is necessary to the airport's approach, to the pilots.

The viewpoints of the assessment:

1. how many mistakes the commits the tasks in the course of execution,
2. what kind is the student's developmental path.

The summarised assessment of the listener performances

I make the next statements:

1. The those students, who the test their results were qualified as suitable on his basis the radar a right performance was provided qualitatively on simulation practices.

The a right performance was manifested in the fact that the tasks were solved by fewer mistakes qualitatively and it was attained soon it expects a result. The result of the tutorial work occurred in the student much soon.

2. The students whose performance was inappropriate likewise based on the test it was able to be accomplished the expectations, but the learning process was slower from the students with suitable classification.

The insecurity characterize the work of students with inappropriate classification the task in the course of executions. The insecurity in the recognition of the flying situations and the applicable one air traffic control a procedure appeared in his selection. A lot got into the instructors' work these insecurities his correction. This it was his reason that these students were growing more slowly. This slower development showed the qualitative difference between the students.

SUMMARY

AIRTEST V2.0 software military ATC I do not recommend it to suitability for his sole statement! I do not offer it for it because the civil and military training differs from each other significantly. The time span of the civil training shorter, than that of the military training. The military training relatively slower, but more time is left so the students air traffic control onto the forming of his competences. The more time affords the opportunity to students with inappropriate classification carrying out product development for his ATC students' competences in the test.

AIRTEST V2.0 software useful help the ATC students onto the examination of his abilities. The software can foretell from what kind of bases they start well and it, that during the training from the students what kind of development tendency expected.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. Szabó László – Dobos Gábor

JAK-52 REPÜLŐGÉP FÉKLAP MŰKÖDTETÉS FELÜLBÍRÁLÁSÁNAK VIZSGÁLATA FLUID-SIM SZOFTVERREL.

BEVEZETŐ

2008 őszén került a ZMNE Repülő és Légvédelmi Intézet Repülő Sárkány-Hajtómű Tanszékéhez a FESTO cég hidraulikus oktató próbapadja és a hozzá kapott nagy értékű szoftverek. Ezekkel az eszközökkel a repülőgépek hidraulikus és pneumatikus rendszereinek oktatása egy más dimenzióba került. Mielőtt az oktatásban alkalmaztuk volna az eszközöket, kipróbáltuk egyszerű pneumatikus és hidraulikus rendszerek modellezésében. Már az első próbálkozásunk olyan problémát tárt fel, amelyet a repülőgép típusra rendszeresített, sem a légi, sem a földi üzemeltetési leírás nem tartalmazott. A vizsgálat tárgya a Jak-52 repülőgép (1. ábra) féklap vezérlési rendszere.

1. ábra

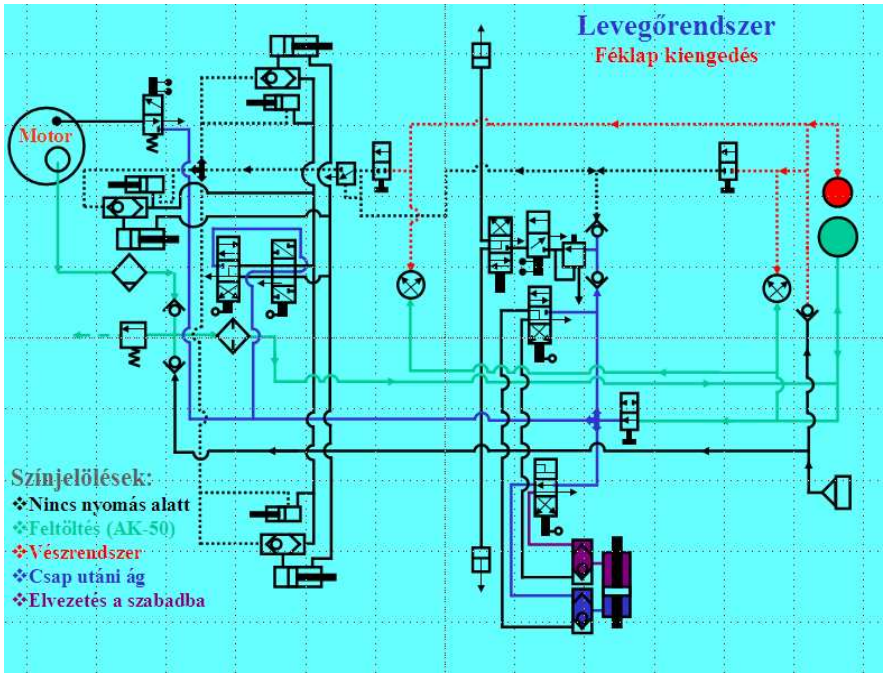
A munkánkkal az volt a célunk, hogy felkeltsük a figyelmet a repülőgép egy konstrukciós problémájára, ami repülésbiztonsági szempontból nem elhanyagolható. Mivel ezt a repülőgép típust a Magyar Honvédségben a pilóta növendékek alapkiképzésében alkalmazzák, így a problémafelvetést és annak egy, vagy több lehetséges megoldását fontosnak ítéljük. Szükséges elmondani, hogy eddig ebből a konstrukciós problémából hazánkban nem volt rendkívüli esemény, de ha egy probléma fennáll, akkor a véletlenek összejátszása miatt bármikor súlyos események forrása lehet. Ezt konstrukciós problémát modelleztük le **FESTO FluidSIM szoftverrel** és ennek felhasználásával kíséretet tettünk a probléma technikai megoldásaira.

A féklapról…..

2. ábra

A SRENK rendszerű féklapokat (2. ábra) a szárny 1-6. bordái között a szárny alsó felületén, a kilépőélnél helyezték el. A féklapok nyitásakor 45^0-ra térnek ki, megnövelve ezzel a repülőgép ellenállását és csökkentve a leszállási úthosszt. A féklapok dúralumíniumból készült szegecselt szerkezetek, amelyeknek fő részei az „U” keresztmetszetű főtartó és a hét darab sajtolt borda. A bal féklap a 2a. és 4. bordánál, a jobb féklap pedig 2. és 5. bordánál van bekötve a féklap vezérléshez.

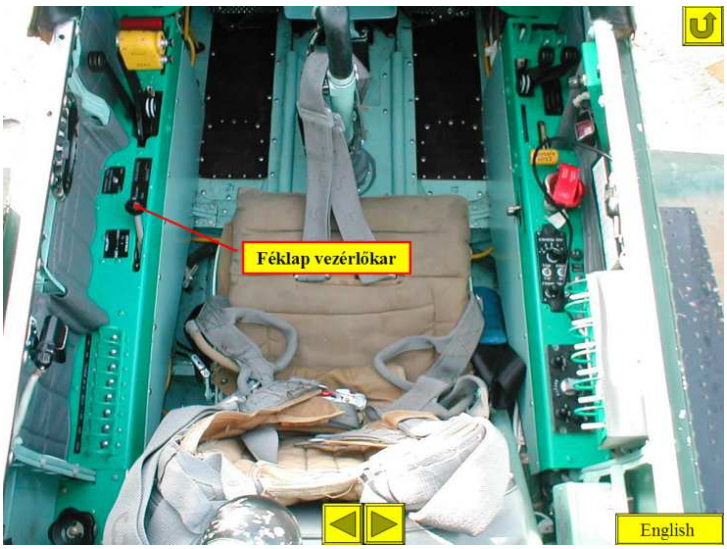
A féklapok működtetése egy **sűrített-levegős** működtetésű **munkahengerrel** történik (3. ábra), amelynek **vezérlőcsapjai** (625300M) mind az első, mind a hátsó fülkében a bal kezelőpulton találhatók.



3. ábra

Féklapok működtető csapjai (625300M)

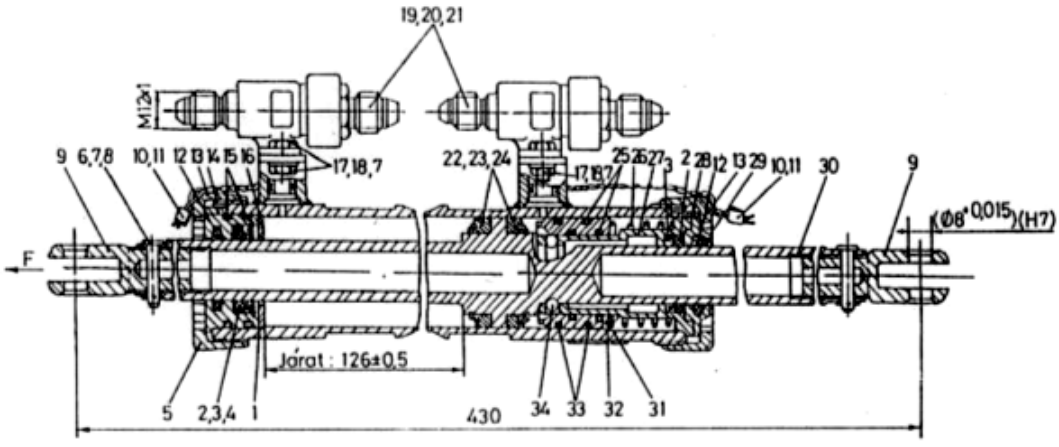
A féklapok működtető csapjai háromállású csapok, amelyek **vezérlőkarjai** minkét fülkében a bal oldali panelen vannak elhelyezve (4. ábra).



4. ábra

Féklapok működtető munkahengere

A féklapok működtető munkahengere (5. ábra) a törzs 8. törzskereténél a fülkepadló alatt van elhelyezve. A vezérlőkarok semleges helyzetében a munkahenger mindkét tere a légkörbe szellőzik és a dugattyúrudat benti helyzetében golyós zár rögzíti. Nyitáskor a munkahenger egyik terébe beáramló levegő először a golyós zárat oldja, majd a működtető dugattyú elindul a kinti helyzet irányába és a dugattyúrúd a féklap vezérlő mechanizmuson keresztül nyitja a féklapot. A másik térből eközben a szabadba távozik a levegő. Behúzáskor a levegőtáplálás iránya megváltozik és a folyamat ellentétesen zajlik le.



5. ábra

1. A FÉKLAP MŰKÖDÉS VEZÉRLÉSÉNEK VIZSGÁLATA

A féklap működtetése mindkét fülkéből lehetséges. A működtetés a féklap kinti és benti helyzetének vezérlését jelenti a kétüléses repülőgép bármely fülkéjéből féklap vezérlő karokkal. Normál helyzetben a féklap működtetésére sor kerül a repülőgép leszállásakor, ill. egyéb esetben bármely repülési helyzetben, a korlátozások szerint 170 km/ h repülési sebesség alatt.

1.1. A működtetés logikai táblázata, ábrája

A féklap helyzetét az utasítás szerint önállóan, bármely fülkéből lehet vezérelni (táblázatban: első fülke A, C, hátsó fülke D, F oszlop, mint a vezérlőkar üzemi helyzetei), de értelemszerűen a „másik" fülkében semleges, kikapcsolt helyzetben (táblázatban: első fülke E, hátsó fülke B oszlop, mint a vezérlőkar semleges helyzetei) kell lenni a vezérlőkarnak.

A	E	B	D	C	F	=>	F1	F2
1	1	X	X	X	X	——	1	
X	X	1	1	X	X	——	1	
X	1	X	X	1	X	\		1
X	X	1	X	X	1	\		1

féklap helyzete

Féklap „bent":

A valóságban a semleges helyzetnek nincs jel értéke a vezérlési körben. Közvetetten az első ill. hátsó fülke vezérlő elemeinek a kikapcsolását, semleges helyzetét jelenti.

A táblázatban a semleges helyzetnek megfelelő oszlop nincs, csak a négy bemeneti, és kettő kimeneti jel: az első fülke féklap behúzás A, kiengedés B, a második fülke féklap behúzás C, kiengedés vezérlő D jele és a féklap benti F0, a kinti helyzet F1 jele.

Term	A	B	C	D	=>	F0	F1
0	0	0	0	0		0	0
1	0	0	0	1		0	1
2	0	0	1	0		1	0
3	0	0	1	1		X	X
4	0	1	0	0		0	1
5	0	1	0	1		0	1
6	0	1	1	0		X	X
7	0	1	1	1		X	X
8	1	0	0	0		1	0
9	1	0	0	1		X	X
10	1	0	1	0		1	0
11	1	0	1	1		X	X
12	1	1	0	0		X	X
13	1	1	0	1		X	X
14	1	1	1	0		X	X
15	1	1	1	1		X	X

A táblázat minimalizálás után:

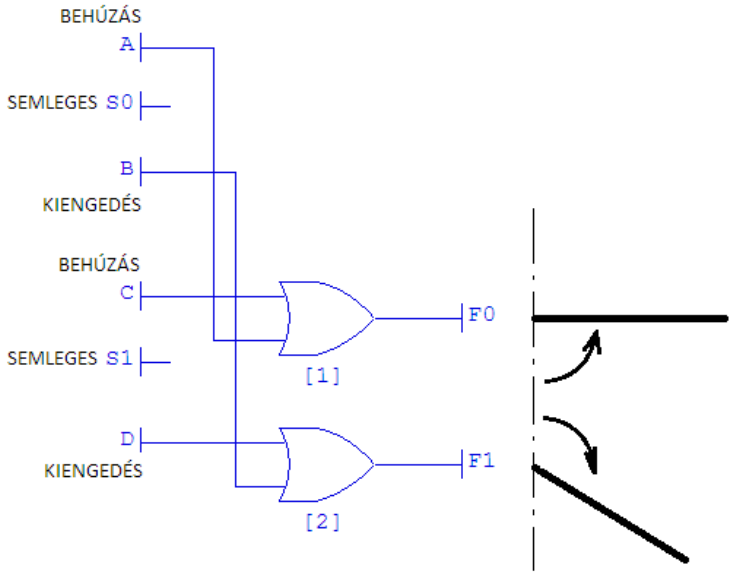
A	B	C	D	=>	F0	F1
1	X	X	X	—	1	
X	X	1	X	—	1	
X	1	X	X	\		1
X	X	X	1	\		1
↑	↓	↑	↓	féklap helyzete		

Féklap„bent”:

$$F_0 = A \vee C \tag{3}$$

Féklap „kint”:

$$F_1 = B \vee D \tag{4}$$



6. ábra

Az előbbi logikai ábra (6. ábra) felel meg az eredeti pneumatikus rendszer felépítésének: útváltó szelep, kettős visszacsapó (VAGY) szelep, léghenger.

A féklap vezérlő útváltó szelepek helyzetének betűjelei a logikai ábrán:

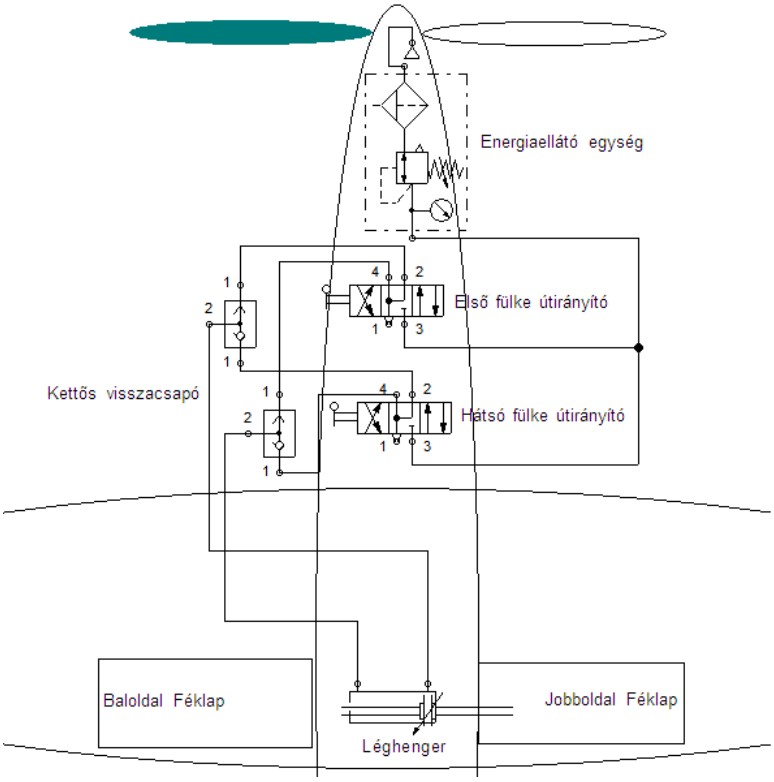
1.) első fülke:
- A-féklap behúzás
- S0-semleges
- B-féklap kiengedés

2.) második fülke:
- C-féklap behúzás
- S1-semleges
- D-féklap kiengedés

A kettős visszacsapó (VAGY) szelep (1), (2) számozású az ábrán. A léghenger ill. féklap benti F0, kinti helyzet F1 jelzésű.

1.2. A kapcsolási rajz, funkciódiagram

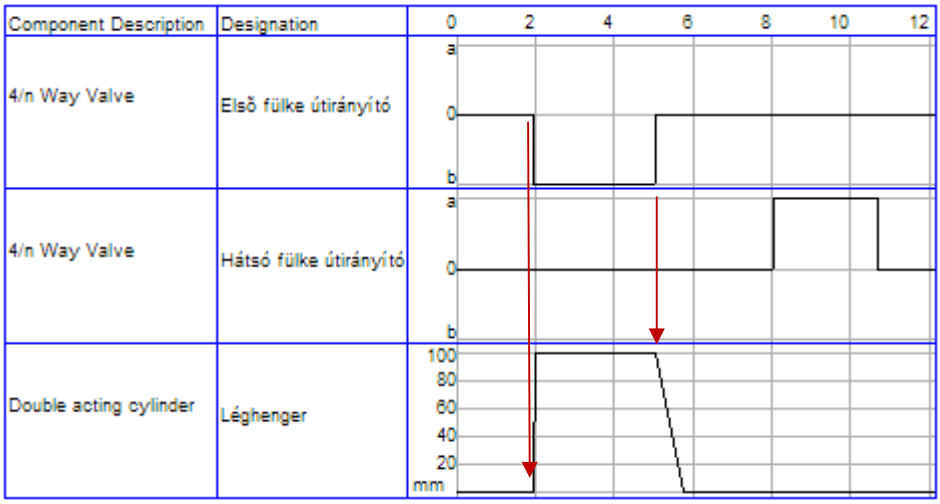
A kapcsolási rajz a repülőgép féklap vezérlő pneumatikus rendszer elemeit tartalmazza. A funkciódiagram a vezérlő és a végrehajtó elemek szimulációs működését ábrázolja jel, idő, út függvényében.



7. ábra

A fenti kapcsolási rajz (7. ábra) funkciódiagramja tehát a féklap vezérlő pneumatikus rendszer működési fázisait ábrázolja. A féklapokon ébredő eredő légerő mechanizmuson keresztül visszahatás imitálására a léghengert –behúzás irányban - állandó nagyságú erővel terheljük a szimulációban.

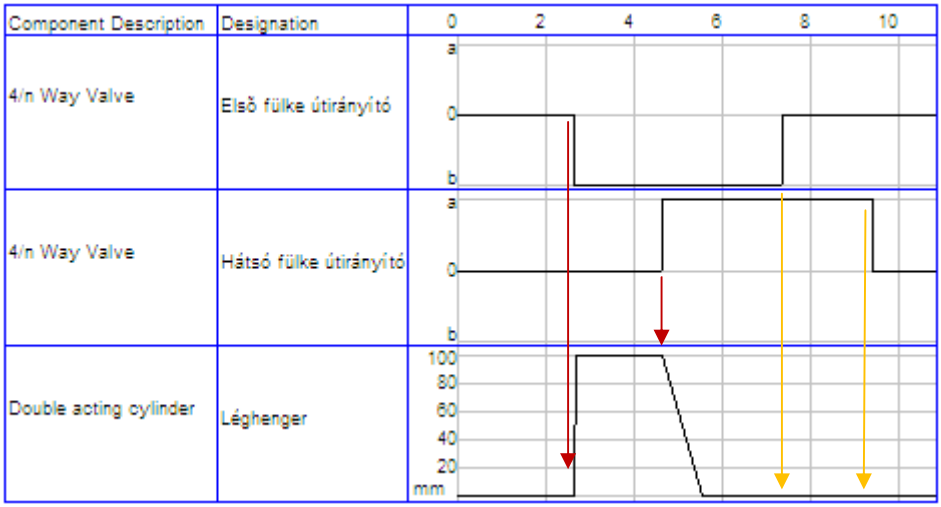
Az első és a hátsó fülke útirányítóinak kapcsolási helyzete (a vagy b) határozza meg a léghenger helyzetét (a 8. ábrán l_z= 0-100 mm), ezáltal a féklap kinti ill. benti állását.



8. ábra

Az előbbi funkciódiagram (8. ábra) a repülés alatt (F_x>0N) ábrázolja a pneumatikus-rendszer vezérlő és végrehajtó elemének állapotát. Az első fülke útirányító elem bekapcsolásakor (b) a léghenger rúdja elmozdul, l_Z [mm].

A repülési utasítás alapján a vezérlés hátsó fülkéből felülbírálásához semleges helyzetbe kell állítani a vezérlő kart az első fülkében. A hátsó fülke útirányító kapcsolása előtt, a léghenger már elmozdul a szimuláció során. A léghenger elmozdulásának az első fülke útirányítójának semleges és a hátsó fülke útirányítójának bekapcsolásakor kellett volna bekövetkezni.



9. ábra

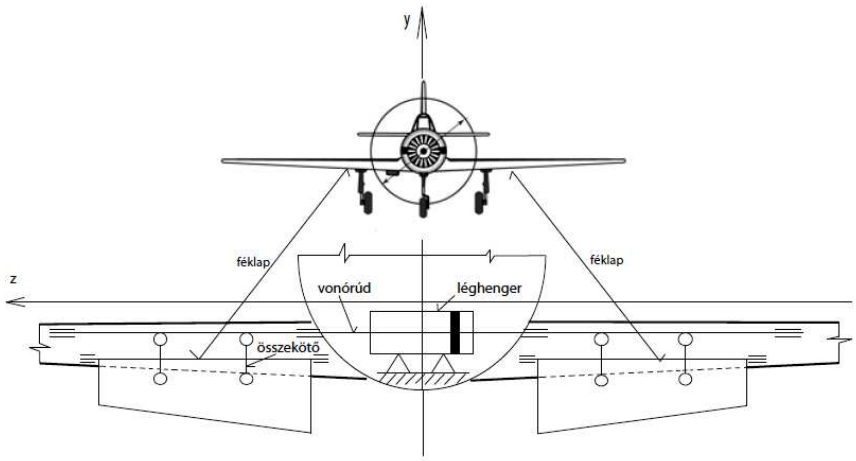
Az előbbi szimulációs diagramban (9. ábra) az első fülke féklap vezérlő jelének a felülbírálása látható - a hátsó fülkében kapcsolt útirányítóval - amellett, hogy nincs semleges helyzetben az első fülke útirányítója. Erre a programmal szimulált működési helyzetre szükséges magyarázatot adni, ill. vizsgálni a repülés közben kialakuló jelenséget.

Összefoglalva az előbbieket a szimuláció szerint a féklap vezérlésének felülbírálása a hátsó fülkéből akkor is lehetséges, ha az első fülkében nincs semleges helyzetben a vezérlő kar.

Repülés közben az utasításnak megfelelően csak semleges helyzetbe állított első fülke vezérlőkar állás mellet lehetséges az ún. felülbírálás a hátsó fülkéből.

2. A FÉKLAP MŰKÖDTETŐ MECHANIZMUS VIZSGÁLATA

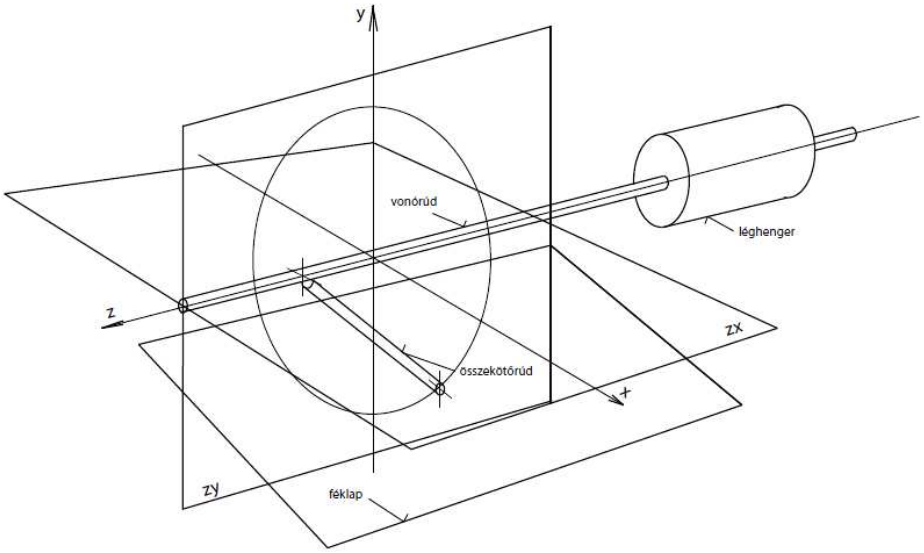
Magát a féklapot két darab összekötőrúdon, azokkal összekötött működtető vonórúddal (10. ábra) átadott pneumatikus erőkifejtés mozdítja a vezérlésnek megfelelően kinti, vagy benti helyzetbe.



10. ábra

2.1. A mechanizmus

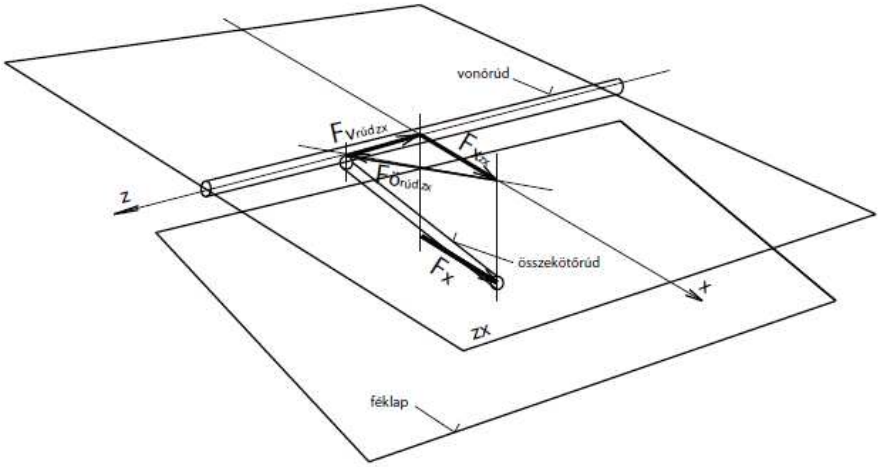
A féklap működtető mechanizmus fő elemei a pneumatikus munkahengerrel összekötött működtető vonórúd, és az összekötőrúd. A működtető vonórúd mozgása kereszttengely irányú, megegyezik a pneumatikus munkahenger dugattyújának mozgásirányával. Az összekötőrúd mozgása összetett, mivel egyik vége a működtető vonórúdhoz, a másik vége a féklaphoz szabadon elfordulható módon kapcsolódik, így a hossz, a kereszt, és a függőleges tengelyek irányában is mozgást végez (11. ábra).



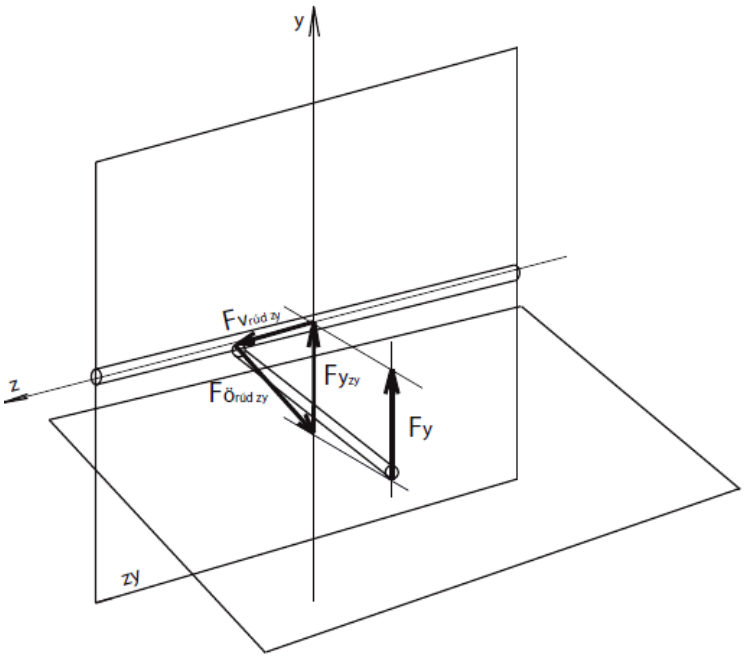
11. ábra

2.2. A féklapot mozgató erők

A féklap vezérelt mozgatása a léghenger erőkifejtése által történik. A pneumatikus erőkifejtés mellett, mint az áramlásba helyezett síktesten légerők is létrejönnek. Jellegénél fogva a féklap kitérítésekor megnövekszik a szárny, ill. a repülőgép megfúvás irányban a felület nagysága. Ennek a következménye az x, hossztengelyirányú F_X ellenállási erő növekedése (12. ábra), és a repülőgép mozgási sebességének csökkenése. Emellett bizonyos nagyságú F_Y, függőleges tengelyirányú erő (13. ábra) is keletkezik a féklap felületen.



12. ábra



13. ábra

$$F_{\text{vrúd } Z} = F_{\text{vrúd } ZX} + F_{\text{vrúd } ZY} \quad (5)$$

$$\sum F_Z = F_{\text{pneum.}} + F_{\text{vrúd } Z} - F_S \quad (6)$$

$$F_{\text{vrúd } Z} = f(c_X, c_Y) \quad (7)$$

Tehát a féklap α nagyságú szögelfordulását, és a működtető vonórúd l_Z [mm] nagyságú elmozdulását a dugattyúrúd bekötésénél átadott F_P pneumatikus erő, a dugattyú és a léghengerfal között ébredő F_S súrlódási erő, továbbá a működtető mechanizmuson keresztül légerők Z kereszttengely mentén ébredő $F_{vrúd\ Z}$ komponense határozzák meg.

Az első vagy a hátsó fülkéből vezérlés, ill. a féklap helyzetének felülbírálása:

1) féklap kiengedés (14. ábra):

ha vonórúd elmozdulás l_Z=0mm, és

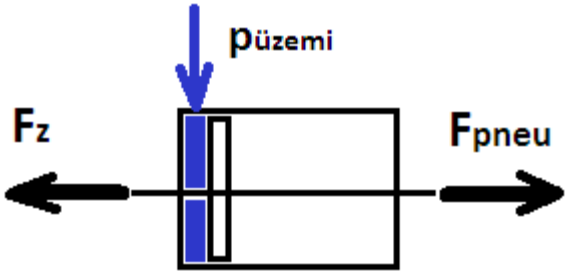
$F_{vrúd\ Z}$ =0 N

$\sum F_Z = F_{pneum\ ki} = p_{üzemi} * A$ (8)

ha vonórúd elmozdulás l_Z>0 mm, és

$F_{vrúd\ Z}$ >0 N

$\sum F_Z = F_{pneum\ ki} - F_{vrúd\ Z} - F_S = p_{üzemi} * A - F_{vrúd\ Z} - F_S$ (9)



14. ábra

A féklap kiengedésekor a F_{pneum} pneumatikus erő és a vonórúdon ébredő $F_{vrúd\ Z}$ erő, F_S súrlódási erő különbsége határozza meg a működtető erő eredőjét.

2.) féklap behúzás (15. ábra):

Akkor, ha a vonórúd elmozdulás l_Z=0mm, és

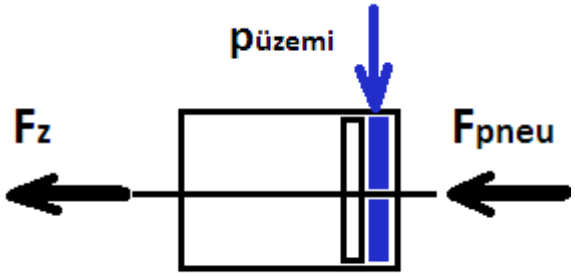
$F_{vrúd\ Z}$ =0 N

$\sum F_Z = F_{pneum\ be} = p_{üzemi} * A$ (10)

Akkor, ha a vonórúd elmozdulás l_Z>0mm, és

$F_{vrúd\ Z}$ >0 N

$\sum F_Z = F_{pneum\ be} + F_{vrúd\ Z} - F_S = p_{üzemi} * A + F_{vrúd\ Z} - F_S$ (11)



15. ábra

A féklap behúzásakor a működtető erő nagyságát a pneumatikus erő és a vonórúdon ébredő $F_{vrúd\ Z}$ erő és a F_S súrlódási erő összege határozza meg.

3.) A hátsó fülkéből a féklap működtetés vezérlésének felülbírálása (16. ábra), ha nincs semleges helyzetben az első fülke vezérlőkar (repülési utasítással ellentétes! azonban előfordulhat!):

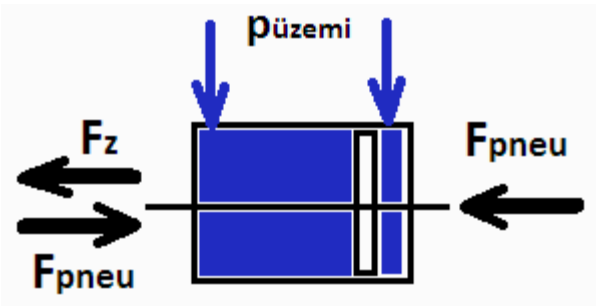
Akkor, ha a vonórúd elmozdulás l_Z=0mm, és

$F_{vrúd\ Z}$ =0 N

$\sum F_Z = F_{ki} - F_{be}$

$F_{ki} = F_{be}$

$\sum F_Z$=0N (12)



16. ábra

A kinematikus szerkezeten keresztül nem fejti ki hatását F_R eredő légerő z kereszttengely irányban a $F_{vrúd\ Z}$=0 N.

A működtető vonórúdon ébredő $\sum F_Z$ eredő erő nagysága zérus, mivel mindkét dugattyútérben azonos nagyságú levegőnyomás ellentétes irányú erőket hoz létre a féklap akár kinti, akár benti helyzetében. Így a működtető vonórúd nem mozdul el, l_Z=0 mm.

A valós repülési körülmények között - a szimulációs programmal ellentétben- nem mozdul el a féklap. A repülőgép féklap működését a pneumatikus *felépítés* alapján megfelelően lehet a FluidSim programmal szimulálni. A programban a kettős működésű léghenger dugattyúrúdra egy irányú terhelést lehet beállítani, amely a működtető mechanizmuson keresztül visszaható erő, a féklapokon ébredő légerők erdője. Azonban a kinematikus felépítés sajátossága miatt eltérő az eredmény.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A ***FluidSim*** szimulációs program alkalmazása a féklap működtető pneumatikus rendszer működésének vizsgálatához megfelelő kiindulópontot ad. Azonban figyelembe kell venni a funkciódiagram, továbbá a pneumatikus vezérlő rendszer elemzésekor a működtető mechanizmus felépítését is.

A szimuláció szerint az első fülkében a vezérlő kar –útváltó szelep- semleges helyzetbe állításakor a kinti helyzetű féklapnak behúzás irányú mozgása van, semleges hátsó fülke vezérlőkar – útváltó szelep - állásnál. Ez nem következik be a valóságos repülési helyzetben, mivel az összekötőrúd merőleges helyzetben van a működtető vonórúdra, így kinematikusan kitámasztja a féklapot, ezáltal az nem mozdulhat el.

A mozgása akkor indul meg, ha a hátsó fülke vezérlőkar behúzás helyzetbe kerül. A léghenger behúzás terébe irányított üzemi nyomású levegő a dugattyúrúdon keresztül összekötött működtető vonórúdon és az összekötőrúdon működtetett pneumatikus erő hatására –kinematikus kitámasztást megszűntetve- behúzás irányba mozdítja el a féklapot.

Sajátos, nem utasítás szerinti vezérlőkar helyzetekben a behúzás, kiengedés nem végrehajtható (felülbírálás!): ha az első fülke vezérlőkar nincs semleges helyzetben.

Ekkor a féklapot összekötőrúdon közvetve működtető vonórúdra ható pneumatikus erők egyensúlyban vannak a léghenger mindkét terében, mivel a kompresszoron keresztül állandó utánpótlása van a levegőnek a rendszer hermetikussági veszteségek pótlására is. Ezzel úgymond „*rögzítve*” van a működtető vonórúd helyzete. Ennek következtében a féklap nem fog elmozdulni (l_Z=0mm). Az F_R légerők nem befolyásolják a mechanizmus mozgását ebben a helyzetben, mivel ezek az erők merőlegesen hatnak az összekötő rúdon keresztül a működtető vonórúdra. Amíg a léghenger ún. féklap kiengedés teréből a levegő nincs kivezetve a féklap kinti helyzetben marad.

A féklap benti helyzetből kinti állásba vezérlése a hátsó fülkéből nem lehetséges, amíg az első fülke féklap vezérlő karja – az útváltó szelep - nincs semleges helyzetbe állítva. Az ok, hogy a léghenger benti helyzetzára nem oldódik, amíg a pneumatikus erők egyensúlyban vannak a léghenger dugattyú mindkét oldalán. A működtető vonórúd rögzítve van, így a féklap nem mozdul el benti

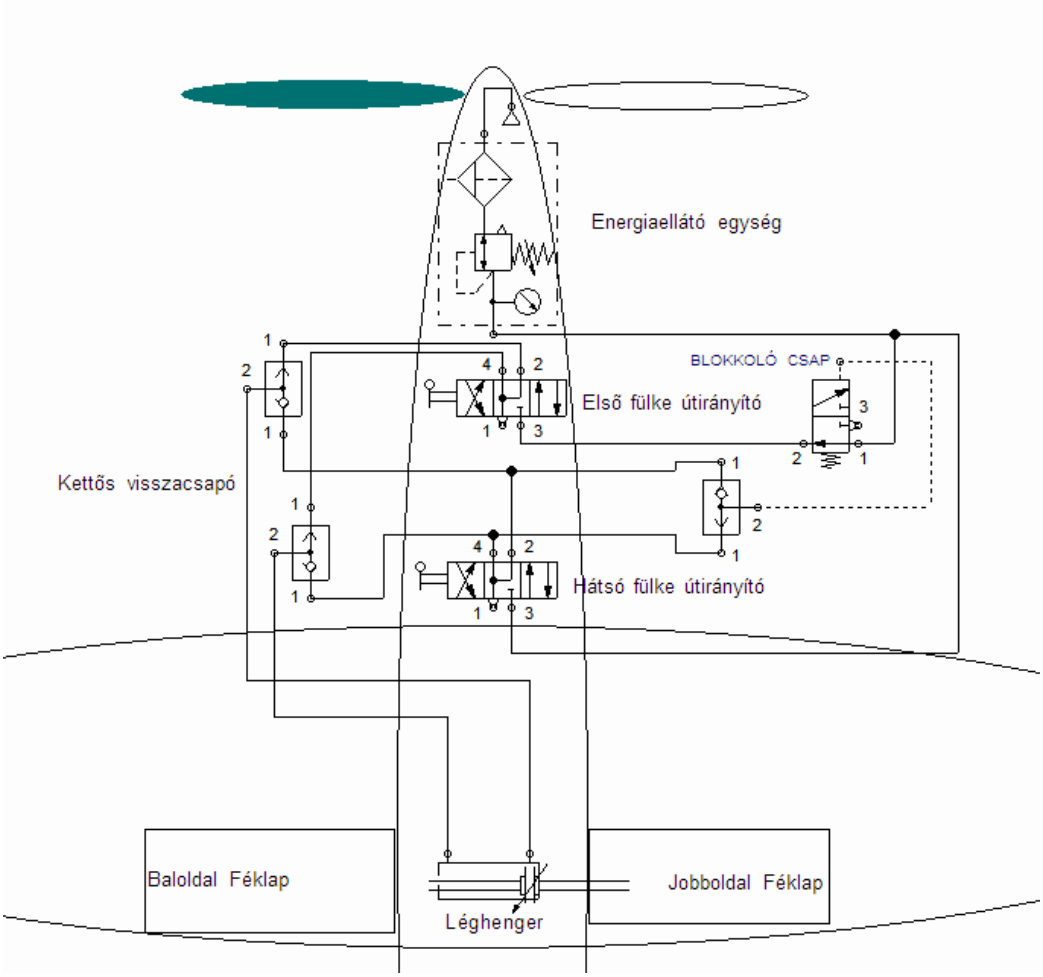
helyzetből, amíg a léghenger ún. behúzás teréből nem kerül kivezetésre a levegő az útváltó szelep lefúvatás csatornáján.

Megállapítható, hogy a féklap helyzet „felülbírálhatósága” (a vizsgált pneumatikus rendszerben) *normálisan* akkor történhet meg, ha az első fülke vezérlőkarja semleges helyzetben van. Az elvégzett vizsgálat szerint ettől eltérő esetekben a „*felülbírálhatóság*” végrehajtható, ami a vezérlő karok adott helyzetbe állításában kimerül, féklap állásán semmit nem változtatva.

Véleményünk szerint ez nem felel meg teljességgel a felülbírálással szemben támasztott vezérléstechnikai követelményeknek.

3.1. Példa a felülbírálás megoldására

A féklap vezérlésének felülbírálására - bármilyen első fülke vezérlőkar állás esetén- többféle lehetőség adott. Egy lehetséges megoldását az alábbi ábra (17. ábra) tartalmazza. A megoldást egy a második, oktató fülke vezérlőkar működtetésekor pneumatikus úton vezérelt útváltó beépítése jelenti, amely feladata az első fülkéből vezérelt levegő tápkörének kiiktatása, és a léghenger megfelelő teréből a levegő külső légkörbe kivezetése. Ezáltal kizárólag az oktató vezérlési szándéka szerint történik a léghenger mozgatása, ill. a féklap kiengedése vagy a behúzása.



17. ábra

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Bevezetés a pneumatikába. Festo, Budapest, 2001.

[2] BOZÓ-CSANAK: Pneumatikus berendezések üzemeltetése és karbantartása, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.

[3] The definitive pilots operating handbook for the Yakovlev Yak 52, Bona Sera Investments (Pty) Ltd., 2003.

[4] Jak-52 multimédiás tananyag, Távoktatási tananyag ZMNE 2005

ALKALMAZOTT SZOFTVER

[1] Igazságtábla, Logic Friday v.1.1.1

[2] Funkciódiagram, Festo FluidSim v3.6 Pneumatics

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. Szabó Sándor András[1]

A NATO REPÜLŐORVOSI HARMONIZÁCIÓS TÖREKVÉSEI A HADMŰVELETI TAPASZTALATOK ÉS A REPÜLÉSBIZTONSÁGI ADATOK TÜKRÉBEN

Kulcsszavak: pilótahiba, repülésélettani stresszorok, időkényszer, letiltások, Egységes Védelmi Előírások (STANAG-ek)

BEVEZETÉS

A repülésbiztonság hosszútávú alakulásában - a repülőműszaki tudományok innovatív támogatása és az előrehaladó pilótakiképzés, a reptechnika szisztematikus elsajátítása mellett – napjainkban meghatározó tényezővé vált a repülőalkalmasság egészségügyi elbírálásának magas szintje, mind a kiválogatás, mind a rendszerben tartás során, az évente esedékes repülőorvosi vizsgálatok alkalmával. Ennek oka az, hogy a repülés „alrendszerei" közül a humán tényező az, amely napjainkban a leginkább esendővé vált, a modern harci technika irányításában, kezelésében, és a katonai feladat végrehajtásában leginkább korlátozó tényező lehet. Ez vonatkozik a repülés okozta fizikai-élettani kihívásokra és a mentális-pszichés megterhelésekre is: például a sárkányszerkezet, a strukturális elemek túlterheléssel szembeni ellenálló képessége könnyebben, nagyobbra tervezhető új kompozit anyagok felhasználásával, ugyanakkor az emberi gyorsulástűrő képesség limitált marad; magassági védőfelszerelés nélkül az átlagosan 9 G-t (a testsúly 9 szeresét jelentő túlterhelést!) 15 másodperc időtartamnál hosszabban nem haladhatja meg, az eszméletvesztés kockázata nélkül.

A ma és a közeljövő (4. és 5. generációs) vadászgépeinek technikai paramétereit megismerve állíthatjuk, hogy az „ember-gép-környezet" dinamikus rendszerében a pilóta a leggyengébb láncszem. Ezt igazolják a repülésbiztonsági statisztikák is: míg a motoros repülés első 50 évében a technikai hibák, a technológiai hiányosságok játszották a vezető szerepet a légi katasztrófák kialakulásában, addig a második 50 év az emberi tényező előtérbe kerülését hozta ezen a téren. (Az Amerikai Egyesült Államokban a közforgalmi repülésben jelenleg mintegy 70 %-ra teszik az emberi hibát is magában foglaló katasztrófák arányát. Az Amerikai Repülőorvosi Társaságot ez a felismerés indította arra, hogy a polgári „általános repülésben" is az emberi tényező szerepére a civil pilótákat oktassák, kapjanak kiképzést a repülési jogosítvány megszerzése előtt.[2]) [31]

[1] MH Honvéd Egészségügyi Központ, Repülőorvosi-, Egészségvizsgáló és Kutató Intézet, Kecskemét sasi19620@gmail.com
[2] AsMA Amerikai Repülő- és Űrorvosi Társaság 96-3 határozata „Az emberi tényezők oktatásáról". www. asma. org / publications / toc_compendium

Amit felismertek a polgári repülésben, természetesen megnyilvánul a katonai repülésben is. A NATO mint nemzetközi szervezet megalakulása óta nagymértékben épít a nemzeti légierők tapasztalataira, mint Szövetség kiaknázza a repülőegészségügy speciális Légi Művelet Támogató (Air Operation Support) képességét, amelyre szükség is van. A Légierő potenciális szerepvállalása a jövőben új területekkel bővülhet: csapásmérő ereje fokozódhat, mely az Élőerő (a pilóta és repülőszemélyzet) fokozott védelmét és harcképességének fenntartását indokolja. Légi szállító eszközei révén a stratégiai (akár egylépcsős) légi egészségügyi kiürítésben játszott szerepe elmélyülhet. Természetesen ez megköveteli a légierő személyzeti és technikai feltételrendszer, az eljárásrendek egységes elvek szerinti kialakítását a repülőegészségügy területén is. A jogszabályi harmonizáció nem öncélú: jelentős megtakarítást eredményezhet a befektetett energiában, pénzben, időben. A közös egészségügyi adatbázisok alkalmazása lehetővé teszi a fenyegető vagy újszerű repülőegészségügyi kockázatok elemzését, kezelését, ezzel a repülésbiztonság növelését és a pilóta rendszerben tartását hosszabb ideig.

Katonaorvosi tudományos oldalról ebben az RTO / AGARD[3] játszik vezető, koordináló szerepet: a Humán Factor és Orvostudomány (Human Factor & Medicine) Panel vizsgálja a tagországok részéről érkező jelzések alapján a klinikai szakterületeken teendő lépéseket: ilyen például a gyógyszerelés lehetősége a szívérrendszeri kockázati tényezők csökkentésére illetve a mentális teljesítmény fokozására hosszútávú bevetések során. Ugyancsak vizsgálja a nemzeti repülőalkalmasság vizsgáló rendszerek egységesítését a „Különleges Elbírálásssal Alkalmas" minősítések elemzésével. De a repülésbiztonság szempontjából legfontosabb, hogy a baleseti adatokat elemzi, és összefüggést keres a repülésélettani stresszorok területén jelentkező új kihívásokkal, illetve keresi a technikai megelőzés lehetőségeit: ilyen a túlterhelés okozat eszméletvesztés megelőzése új típusú magassági védőfelszereléssel, anti-G ruhával, éjszakai látás segítő berendezés[4] alkalmazásának repülőorvosi vizsgálata. Ez a Panel figyelemmel kíséri a klinikai orvostudomány legújabb tapasztalatait[5], a repülőműszaki fejlesztések humán tényezőre gyakorolt hatását (elsősorban az információ túlterhelés területén).

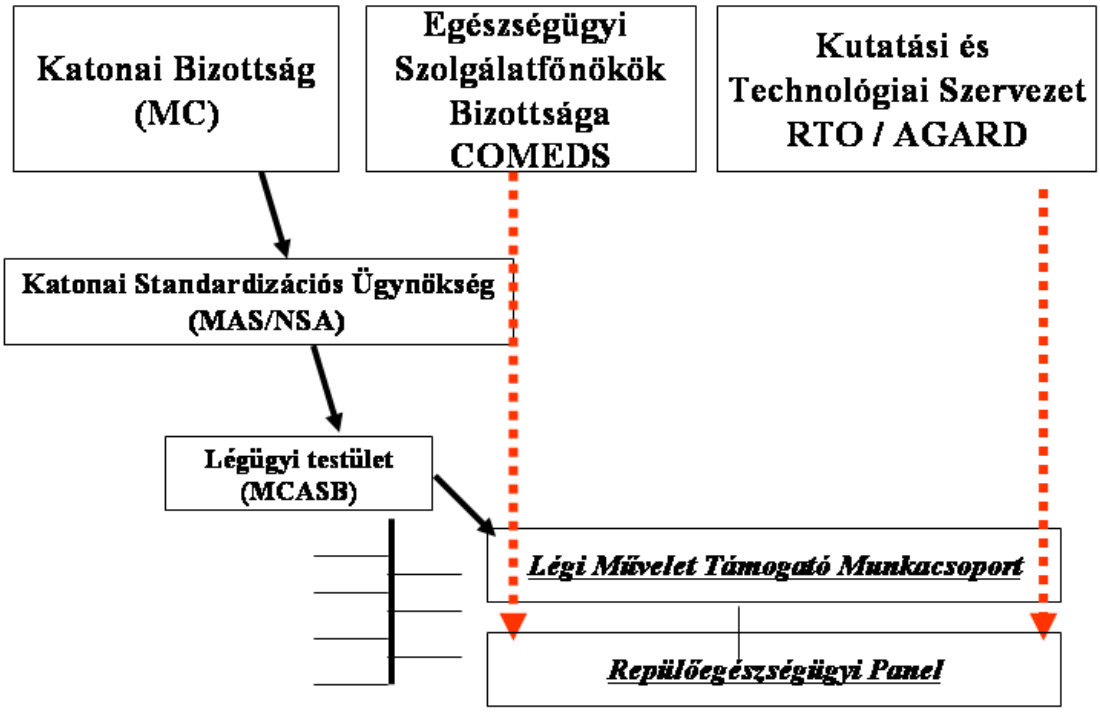
Repülőorvosi standardizációs oldalról a Szövetség országainak nemzeti eljárásrendjeit (azaz a nemzeti repülőorvosi intézetek működési és kiképzési rendjét) az MCASB[6] haderőnemi bizottság, illetve az alá rendelt AOSpWG[7] koordinálja. Ennek van alárendelve a Repülőegészségügyi Panel[8], amely ilyen szempontból egyedülálló az orvosi munkacsoportok, panelek sorában a NATO-n belül: míg a többi orvosi grémium a COMEDS (Chiefs of the Medical Services - Egészségügyi Szolgálatfőnök Bizottsága) közvetlen alárendeltségében működik, addig a Repülőegészségügyi Panel

[3] Research and Technology Organization, azaz NATO Kutatási és Technológiai Szervezet
[4] NVG: Night Vision Goggles – éjjellátó készülék
[5] EBM Evidence Based Medicine, azaz Bizonyítékokon Alapuló Orvoslás szemlélete
[6] Military Committee Air Standardisation Board, azaz a NATO Katonai Bizottsága alá rendelt Légügyi Standardizációs Bizottság
[7] Air Operation Support Working Group (Légi Műveleteket Támogató Munkacsoport)
[8] AMDP: Aeromedical Panel (Repülőorvosi Panel)

megtartotta szoros munkakapcsolatát (és ezzel gyors reagálóképességét a felmerülő problémákra) a repülőműszaki és repülésbiztonsági területekét felelős panelekkel és munkacsoportokkal.

Természetesen a COMEDS-nek van rátása és jogköre arra, hogy a repülőegészségügy operatív kérdéseiben (AirEVAC , azaz Légi Egészségügyi Kiürítés, Repülőegészségügyi Doktrína) elöljáróként feladatot szabjon és ellenőrizzen: ez a **katonaorvosi szervezési oldal**. ***(1. ábra***)

Jelen cikkben mindhárom – a katonaorvosi szervezési, a katonaorvosi tudományos és a repülőorvosi (standardizációs) oldal - legfrissebb tapasztalatait, kezdeményezéseit összegzem, a 2009. őszén lezajlott NATO konferenciák eredményei alapján.



1. ábra: A Repülőorvosi Panel helye a standardizációs hierarchiában

A STANDARDIZÁCIÓ ÁLTALÁNOS ELVEI

Az erők-eszközök egységes alkalmazhatóságának igénye a Szövetség lényegéből fakad. Ennek négy egymásra épülő szintje van, amely a tagországok részéről folyamatos kompromisszum keresést igényel;

- **Kompatibilitás:** A felszerelések, vagy anyagok azon képessége, hogy ugyanabban a rendszerben vagy környezetben, egymás kölcsönös zavarása nélkül létezzenek vagy működjenek.
- **Interoperabilitás:** A rendszerek, egységek, vagy erők azon képessége, hogy biztosítsák és/vagy elfogadják azokat a szolgáltatásokat, amelyek lehetővé teszik, hogy hatékonyan működjenek együtt.

- **Csereszabatosság** (vagyis kölcsönös kicserélhetőség): azon állapot, amikor két vagy több dolog olyan működési és fizikai jellegzetességekkel rendelkezik, hogy azok teljesítőképességében és tartósságában egyenértékűek, valamint egymással felcserélhetők.
- **Kommonalitás** (azaz egységesség): egyének, szervezetek, vagy nemzetek csoportjai által alkalmazott közös doktrínák, eljárások, felszerelések használata során valósul meg.

A Szövetség célja ***legalább*** az interoperabilitás szintjének elérése, távlati célként a teljes egységesség megvalósítása minél több területen. A Military Committee, (NATO Katonai Tanácsa) alá rendelt Standardizációs Bizottság felügyeli az egységesítési folyamatot és sokirányú kapcsolatot alakított ki a politikai szintekkel, a hasonló polgári szerveződési formákkal és létrehozta saját, haderőnemekre lebontott intézmény rendszerét. Az Észak Atlanti Tanács megalapította az NSA (NATO Standardizációs Ügynökség) szervezetét, mely összhaderőnemi és speciális haderőnemi Testületek (Board) alá rendelve Munkacsoportokat alakított ki az egyes technikai (materiális, azaz anyagi szintű), operatív (azaz műveleti-módszertani) és logisztikai, adminisztratív (szabályzat szintű) paraméterek egységesítésének végrehajtására. **Ezek felelősek valamennyi Egységes Védelmi Előírás (STANAG) és Szövetségi Publikáció (AP) fejlesztéséért.** [9]

Ugyanakkor átfogóbb, magasparancsnoki (vagy akár katonapolitikai) szinten született irányelvek, doktrínák kidolgozott, részletes tervezetei is kaphatnak Standardizációs Egyezmény szerinti besorolást, a jogi folyamat egyértelmű végigvitele céljából. Ilyen például az MC 326/1.-2. számú dokumentum a NATO Katonai Bizottság részéről „A NATO egészségügyi biztosítás irányelvei és politikája" címmel, melynek alapján kidolgozott 4.10-es Szövetségi Közös Publikáció (AJP 4.10) a Szövetséges összhaderőnemi egészségbiztosítási doktrínáját részletezi, STANAG 2228 Egységes Védelmi Előírásként. Ennek elemzése, adaptálása a honi viszonyokra a Magyar Honvédség egészségügyi szolgálata számára kulcsfontosságú lépés volt.[10] [25]

A REPÜLŐORVOSI STANDARDIZÁCIÓ FŐ IRÁNYAI

Az AMDP feladata a standardok kialakítása és gondozása a repülőorvostan területén, és ezzel a Szövetség rendelkezésére álló repülőerők, repülőeszközök hatékonyságának és biztonságos alkalmazásának növelése. Az évenkénti Panel ülések célja a munkacsoport által gondozott STANAG-ok (Standardization Agreements, Standardizációs Egyezmények, azaz Egységes Védelmi Előírások) áttekintése. A 3-5 éves akciótervben megfogalmazottak szerint elsőbbséget kell biztosítani a hajózóállomány repülőorvosi egységes kiképzésének, a hajózószemélyzet kölcsönös kicserélhetősége biztosításának és a Légi Kutató-Mentő Szolgálat, valamint a harcászati légi kiürítés repülőegészségügyi felszerelésének, létesítményrendszere kialakításának. Gyakrabban áttekintik és a

[9] STANAG: Standardization Agreement , AP: Allied Publication

[10] SVÉD, L.: A Magyar Honvédség egészségügyi biztosítása, elvének és gyakorlatának változásai, sajátosságai, különös tekintettel a haderő átalakításra, a NATO-ba történő integrálásra, a különböző fegyveres konfliktusok, valamint a békefenntartó, béketeremtő, és –támogató tevékenységre. PhD értekezés, 2003. ZMNE Hadtudományi Iskola, Budapest.

tudományos haladásnak, illetve a szükségleteknek megfelelően újratárgyalják a következő témákat: a hajózóállomány kiképzése, repülési időtartamai és pihenési rezsimje, a Kutató-mentő és MEDEVAC (Légi egészségügyi Kiürítés) Szolgálat repülőorvosi kiképzése, a repülőgép egészségügyi felszerelése, nagy túlterhelésekkel és G hatásokkal járó repülési környezet élettani hatásai, nukleáris robbanás okozta vakság megelőzése, NBC fegyverek elleni védelem, nagymagasságú ejtőernyős ugrás során szükséges élettani védelem.

Mindez úgyis felfogható, mint az élőerő védelmének speciális, a repülési környezetre alkalmazott megjelenítése, az egyes harcos cselekvőképességének, speciális munkavégző képességének fenntartása a katonai repülésben, azt is figyelembe véve, hogy a légierő nem V. cikkely szerinti támogató-logisztikai misszióiban (például MEDEVAC Légi egészségügyi kiürítés, SAR Légi Kutató-Mentő Szolgálat) is a fenti elv maradéktalanul érvényesítendő. Az Egyezmények jelentős része a pilóta személyével, az ő védelmével és harcképességének fenntartásával foglalkozik, kisebb része pedig az általa szállított payload („hasznos teher") optimális és hatékony célba juttatásával, ami lehet sebesültek, betegek légi egészségügyi kiürítése is.

Figyelembe véve a tudományos képzettség és a klinikai repülőorvosi tapasztalatok hasonlóságát az egyes nemzetek szakemberei között, összességében állítható: a módszertani, szakmai-elvi egyezmények jelentős részükben akár fenntartás nélkül ratifikálhatók. Az elvi alapok azonosak, a praktikum a hazai gyakorlattal összhangba hozható. A ratifikálás nem jelent mindig egyértelműen teljes végrehajtást, csak elvi egyetértést és a jövőre vonatkozó elkötelezettséget, vagy fenntartásokkal történő végrehajtást, vagy elfogadást konkrét gyakorlati végrehajtás nélkül is. A technikai, materiális jellegű STANAG-ek esetében ugyanakkor sok függ a Gripen program folyamatában megvalósuló és a NATO kötelezettségvállalásokhoz biztosítandó tárgyi-technikai feltételektől és a hozzákapcsolódó kiképzési lehetőségektől.

PILÓTAHIBA

Az orvostudomány alapelve – mely szerint a megelőzés (népegészségügyi szinten) hatékonyabb, mint az egyedi esetben a gyógyítás – szinte változatlan formában érvényes a repülésbiztonság területén. Jobb a repülésre veszélyes problémákat proaktívan kezelni és elkerülni, mint a bekövetkezett katasztrófa, repülőbaleset után a kivizsgálás folyamán rögzíteni, „mit kellett volna másképpen csinálni?" (Természetesen erre is szükség lehet, ez is integráns része az általános repülésbiztonságnak, csak ebben a fázisban már összehasonlíthatatlanul nagyobb a bekövetkezett veszteség emberéletben és anyagi költségekben.)

A katasztrófahelyzet előtti pillanatokban a pilóta cselekvése, adekvát cselekvőképessége perdöntő, utolsó láncszem lehet egy folyamatban, melynek sok láncszeme gyakran csak utólag rekonstruálható, nagy kihívást jelentve a repülőorvos és a repülésbiztonsággal foglalkozó más szakemberek számára.

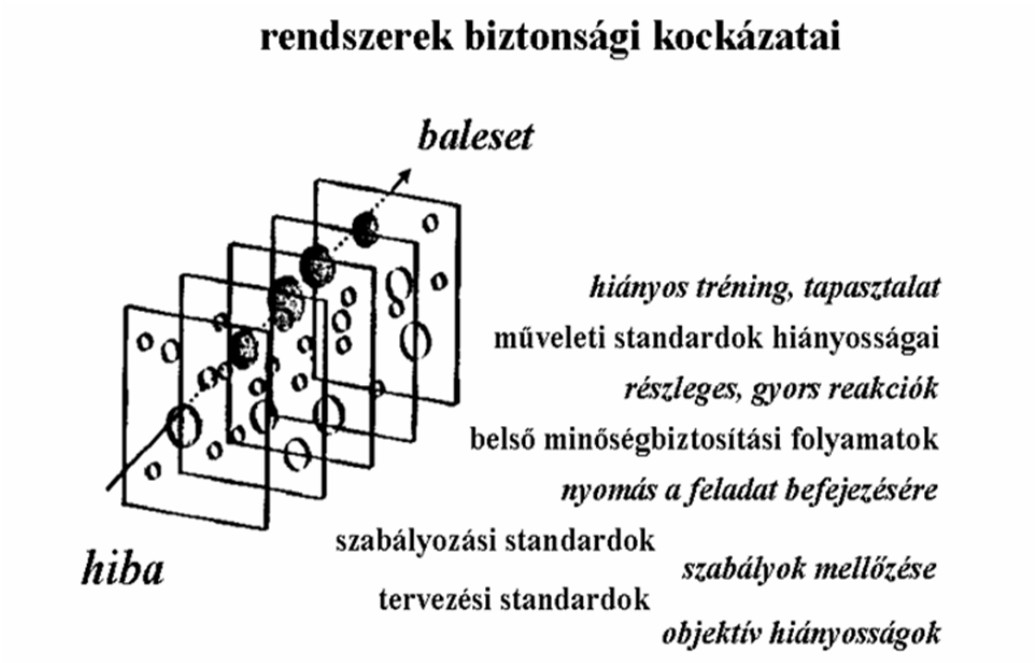
Ilyenkor joggal tehető fel a kérdés: a pilóta a leggyengébb (vagy csak a legutolsó?) láncszem a hibafolyamatban?

A repülés rendszerelméleti szempontból számos alrendszer kombinált, térben és időben összerendezett folyamatos működését feltételezi, amelybe beletartoznak technikai komponensek éppúgy (pl. avionika, hajtómű rendszer épsége), mint külső tényezők (meteorológiai viszonyok). Így tekintve a repülés végrehajtó alanya, a pilóta is "csak" egy alrendszer, a maga inherens, belsőleg meghatározott "meghibásodási arányával", legyen szó akár hirtelen egészségi állapotromlásról (ezzel a klinikai repülőorvostan foglalkozik, például a leszállás közben bekövetkező szívinfarktus valószínűségének értékelése), akár a hibáról, mint az aktuális szellemi teljesítmény elégtelenségéről. Az egész repülés során, de különösen vészhelyzetben érvényesül a pilótamunka pszichés szempontból legnagyobb stresszt és kihívást jelentő jellemzője, az **időkényszer** és az ebből fakadó beszűkült, lerövidült döntéshozatali folyamat, amely egyfajta folyamatos vészhelyzet „menedzselést", az alternatívák közül a legkisebb rosszat, veszélyt jelentő megoldási módozat kiválasztását jelenti, gyakran csak a tudatalattiban, az automatizmusok szintjén, a korábban felhalmozott repülési tapasztalatok birtokában.

Az Egyesült Királyságban a katonai repülésben összesen 80% körül van a humán tényezőt, vagyis az emberi hibát involváló baleseti arány.[11] [6] Ebből 40% , ahol elsődleges vagy kizárólagos a légi személyzet hibája, 17%, ahol erősen valószínű a pilóta hiba oki szerepe a balesethez vezető folyamatban.[12] Amerikai statisztikák szerint „A" osztályú (súlyos vagy halálos) F-16-os balesetekben a pilóta oki szerepe összességében 55 %-ban volt igazolható, ezek 30 %-ban a figyelem beszűkülése és a térbeli tájékozódóképesség elvesztése biztosan szerepet játszott. Ha azonban a fatális kimenetelt tekintjük (19 év alatt 190 repülőesemény alapján, a balesetek 27 %-ában valamelyik pilóta meg is halt), akkor a fatális esetek 97 %-ban volt igazolható a humán tévedés szerepe![13] [11] Ennek oka az, hogy míg a technika megbízhatósága gyors ütemben növekedett (precíziós avionika, modern kompozit anyagok, biztonsági és tartalék repülőműszaki, navigációs-elektronikai és hajtómű rendszerek), addig a repülés alanya, a pilóta alapvetően ugyanazokkal a szubjektív teljesítménykorlátokkal repül, redundanciája nem változott. Ahogy az HFACS[14] rendszer kidolgozói megfogalmazták: „Az ember természeténél fogva hajlamos a hibára; ésszerűtlen hibamentes teljesítményt várni tőle."[15] [22]

[11] ERNSTING, J. (Ed.): Aviation Medicine Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000, 3. Kiadás, p. 599.
[12] DAvMED: Repülőorvosi Diploma tanfolyam, Pszichológiai szekció DERA, Farnborough, 1999.
[13] KNAPP, C.J., JOHNSON, R. : F-16 Class A mishaps in the U.S. Air Force, 1975 - 93. Aviat Space Environ Med 1996., 67., p. 777-783.
[14] Human Factor Analysis and Classification System: Emberi hiba Elemzési és Osztályozási Rendszere
[15] SHAPPELL, S. A., WIEGMANN, D. A. (1997). A human error approach to accident investigation: The taxonomy of unsafe operations. International Journal of Aviation Psychology, 7 (4), 269-291. 1997

A baleset - és ez az utólagos katasztrófa elemzések során egyértelműen látható - nem a pillanat műve, több tényező, történés együttes és fatális egymás utánisága hozza létre a kritikus helyzetet, vagyis **dinamikus folyamat**. Ezt a Reason-féle "sajtmodel" szemlélteti: mint a sajtszeleteken a lyukaknak egy egyenesbe kell esni ahhoz, hogy átlássunk rajtuk, úgy az önmagukban ártatlan kis eltérések is felfűzhetők egy eseményláncra, amely a balesethez vezet.[16] [19] A pilóta lehet elindítója illetve máskor passzív elszenvedője az eseményeknek, de gyakran hibás vészhelyzeti tevékenységével ő is rásegít tőle független hiba források realizálódásához, a lánc tovább haladásához. ***(2. ábra)*** A légijármű parancsnokaként vagy a repülési szabályzatok megalkotójaként közvetlen jogi felelőssége lehet a szabályzatokban rögzítettektől való eltérésért. [17] [4]



2. ábra: A hibafolyamat sajtmodelje (James Reason „Swiss Cheese Model")

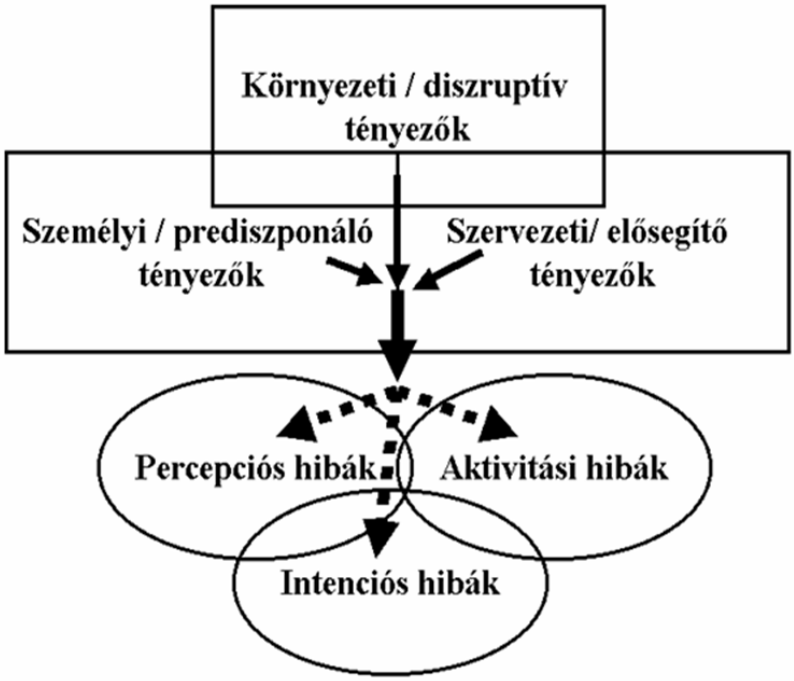
Bár a képi illusztráció a linearitást, a dolgok egymásutániságát és egy hibafolyamatra történő felfűzését demonstrálja, az angol repülőorvosi szakirodalom térképszerűen inkább az aktuális hiba típusokról és a nekik hátteret biztosító, hosszabb távon ható jellemzők tartományairól, a doménekről beszél, melyek mindegyikében külön-külön azonosítható az emberi hibakomponens.[18] [2] ***(3. ábra)***

Hiba típusok

Az első nagy csoport a percepciós vagy észlelési hibák csoportja: egy fontos információt a pilóta nem észlel vagy félreértelmez. Ennek lehet oka a percepciós folyamat időbelisége, az észlelés élettani

[16] REASON, J.: Human error: models and management. British Medical Journal 2000., 320., (7237) p. 768–770.
[17] DUDÁS, Z: Repülésbiztonsági kockázat, repülésbiztonsági felelősség. www.szrfk.hu */rtk /kulonszamok/2009 cikkek/ Dudas_Zoltan.pdf*
[18] CHAPPELOW, J.W.: Error and accidents. In Ernsting, J. (Ed.): Aviation Medicine Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000, 3. Kiadás, p. 599.

korlátja, pl. nagy sebességgel szemből közeledő repülőgépek esetében a légi összeütközés veszélye áll fenn, mert az egyszerű reakcióidőnél is rövidebb idő áll csak rendelkezésre az észleléshez és esetleges cselekvéshez.



3. ábra: Hiba típusok és háttér tartományok

A vizuális illúziók, a térbeli dezorientáció a félreértelmezés tipikus példái: pl. földi fények tükröződése inverziós légrétegen becsapja a pilótát, a szemének hisz és hibás útvonalat, magasságot választ, vagy ferde felhőalaphoz igazítja a gépét, és így magasságot veszít, ahelyett, hogy vízszintben repülne. A térbeli dezorientációt erős stressz is kísérheti (a pilótában tudatosul, hogy valami nincs rendben, és a konfliktusos érzetek miatt feszült, ideges), vagy teljes egészében a fals érzeteket és információkat követi, tájékozódó képességét elveszíti és aszerint cselekszik - rosszul. Mind a kettőnél igen gyakori a CFIT[19], főleg rossz időjárási körülmények közé történő berepülés során, ha nincs a földközelséget jelző automata riasztó rendszer.[20] [27]

A második nagy emberi hiba csoport a szándék, az intenció hibái: a pilóta által megformált repülési terv, illetve annak adott repülési helyzetben megvalósítandó részlete kockázatot hordoz magában, mert ütközik a repülési körülményekkel. A pilóta szándékosan is megszegheti durván a szabályokat, vagy félreérti a helyzetet, illetve félreértelmezi a szabályokat, amelyek az adott helyzetben irányadóak kell hogy legyenek.

A harmadik nagy emberi hibacsoport a kivitelezés, a tényleges tevékenység hibája: a megfelelő terv rossz végrehajtása okozza a bajt. Egyszerű kihagyások egy összetett, egymásra épülő

[19] Controlled Flight into terrain, kontrollált földnek repülés
[20] THOMAS, T.K., et al.: Controlled Flight into Terrain Accidents Among Commuter and Air Taxi Operators in Alaska. Aviat Space Environ Med 2000., 71., p. 1098-1103.

cselekvéssorban bajt okozhatnak, pl. ha a leszállási esemény láncolatban , a checklist (utasításlista) felolvasásakor kimarad valami, a tett nem követi a szót, vagyis a parancssort. Például a pilóta nem engedi ki a futóművet, vagy a futómű kiengedése helyett a katonai gép pilótája a póttartályt dobja le, mert a másik géptípuson megszokott helyen levő kezelőszervet (gombot vagy kapcsolót) összekeveri.

A pilótamunka pszichés szempontból legnagyobb stresszt és kihívást jelentő jellemzője az **időkényszer**: lelassulhat a mozgás, mint válaszreakció, vagy éppen ellenkezőleg, kapkodóvá és összerendezetlenné válik, mindkettő veszélyes.

Háttér tényezők

Kibernetikai - rendszerelméleti oldalról tovább elemezve a hibafolyamatot, az utolsó (az esetleges katasztrófa előtti) pillanatban a humán tényező mindig is főszereplő marad, a fenti hibák másodperceken belül az adekvát repülési tevékenység széteséséhez vezetnek. Ugyanakkor mind a pilóta, mint ember, mind a környezet, mint stressz forrás, mind a szervezet, mint működési keret rejthet olyan tényezőket, amelyek ezt megelőzően ***hosszabb*** távon létezhetnek és befolyásolhatják az egyéni vészhelyzeti teljesítményt.

E háttér domének közül az emberi tulajdonságok prediszponáló, hajlamosító tényezők. Lehetnek abszolút individuálisak: a személyiség, a rátermettség, a motiváció, a vészhelyzeti stressztűrő képesség (ezek repülőalkalmasság szempontjából történő megítélése a pszichológia feladata), és az aktuális mentális teljesítmény és éberség, amelyet a speciális környezeti (repülésélettani) stresszorok befolyásolnak. Vezető szerepben az oxigénhiány, a gyorsulás és a dezorientáció, háttértényezőként a zaj, vibráció esetleg a kifáradás, vércukorszint csökkenés, alkoholos, illetve gyógyszerezett állapot említhető meg,

A környezeti stresszorok szituatív jellegűek, helyzet és feladat függő módon befolyásolják a teljesítményt, alkalmanként diszruptív - kiszakító jelleggel, akár teljes cselekvőképtelenséget okozva. A **repülésélettani stresszorok**, például az oxigénhiány, a túlterhelés ilyen obligát módon rontják a pszichés teljesítményt. A fej-far irányú túlterhelés okozta agyi vérátáramlás csökkenés eszméletvesztést (G-LOC[21]) okoz, mely álomközeli hallucinációkkal, érzékcsalódásokkal, halálközeli élményekkel társul. Amerikai tapasztalatok szerint az 1990-es évek elején jelentős különbség alakult ki a US NAVY Haditengerészeti légierő és a USAF Légierő repült típusain, és a kiképzőgépen repülő növendékek G-LOC gyakorisága között: az eltérő kiképzőgép, centrifuga használat és az előrehaladó kiképzés különbsége miatt sokkal gyakoribb volt a Légierő fiatal pilótái között az eszméletvesztéssel járó incidens (bár a tapasztalt oktató jelenléte természetesen a végzetes kimenetelt általában megelőzte).[22] 20 év G-LOC eseteit feldolgozva pedig azt találták, hogy a 29 halálos kimenetel közül a

[21] G-LOC: Loss of Consciousness: Túlterhelés okozta eszméletvesztés.
[22] NATO Repülőorvosi Munkacsoport ülése, 2002. Brüsszel, amerikai előadás.

földi célok ellen támadó harci (együléses) gépek pilótái esetében volt a legnagyobb a fatalis kimenetelű G-LOC aránya (73 %).[23] [14]

A Typhhon/Eurofighter rendszerbe állítása miatt a Brit Királyi Légierő is felmérte a G-LOC előfordulási gyakoriságát; a pilóták 20,1 %-ánál legalább egyszer előfordult, nagyobb arányban a kiképzés alatt állóknál (kiképzőgépeken 77,4 %-nál,) és az alacsony repült óraszámnál (64 %, 100 repült óra alatt). A tipikus G-LOC nem túl magas, 5-5,9 Gz túlterhelési tartományban következett be, a push-pull manőverek (a botkormány gyors előre-hátramozgásával keltett pozitív és negatív, de vektoriálisan összeadódó túlterhelések és következményes szívérrendszeri reflexek okozta vérnyomás és pulzus ingadozások) 31,3 %-ában [24]. [8]

Az oxigénhiány is jelentős pszichés változásokkal, tudatállapot romlással jár, ami éles repülési helyzetben még mindig vészhelyzetet jelent, bár a katasztrófák abszolút száma csökkent. Például az Amerikai Haditengerészet 1941 óta használ barokamrai hypoxiás edzést, mégis 2001 óta 3 halálos hypoxiás esetük volt, pedig a maszk pozicióban volt az arcon, csak az oxigénrendszer nem működött. 1991-2002 között pedig 9 esetben fordult elő hypoxiás rosszullét „mask-on" (arcon) helyzetben, mert a fedélzeti oxigén generátor nem működött Hornet harci gépeken.[25] [1]

Biztonságos körülmények között barokamrában szemléltethető a kognitív szellemi teljesítményromlás: a jól begyakorolt kézírás olvashatatlanná válik, mérhetjük az érzékszervi teljesítmény romlását (látóélesség csökkenését, látótér beszűkülést), a hosszabbá váló reakcióidőket, a két-kéz koordináció változását. A Magyar Honvédség 59. Szengyörgyi Dezső Repülő Bázis Gripen századánál berepülő pilóták 2008-ban 4 alkalommal észlelték az amerikaihoz hasonló, nagymagasságú (13 000 méter fölötti dehermetizáció kapcsán jelentkező) oxigénhiányt, de időben és hatékonyan le tudták reagálni a vészhelyzetet, ebben a barokamrai edzés számukra egyértelműen hasznos volt.[26]

Korábban a civil pilóták között mérték, hogy 8000 láb (2600 méter) fölötti magasságokban jelentősen romlik a helikopter vezetők új feladat végrehajtására való képessége, 8-12000 láb között csökken a megközelítési-leszállási művelet hibátlan végrehajtása.[27] [15] De a hypoxia „csendes gyilkos" minősítését sajnos a katonai műveletek során még ma is igazolja! **Akár 10000 láb alatt** (3300 méter körüli magasságig), fizikai aktivitással párosulva a hypoxia tünetei jelenkezhetnek: számolási hibák, zavartság, szédülés léphet fel.[28] [23] 10-14000 láb között Apache 64-D harci helikopterek pilótái 70 %-ban tapasztalták az oxigénhiány ilyen teljesítmény rontó hatását. Egy

[23] LYONS, T. J., KRAFT, N., COPLEY, B., : Analysis of mission and aircraft factors in G-induced loss of consciousness int he USAF: 1982-2002. Aviat Space Environ Med, 2004., 75., p. 479-481.
[24] GREEN, N.D.C., FORD, S.A.: G induced loss of consciousness. Retrospective survey results from 2259 military aircrew. Aviat Space Environ Med 2006., 77., p. 619-623.
[25] ARTINO, A.R., FOLGA, R.V., SWAN, B.D.: Mask-on hypoxia training for tactical jet aviators. Aviat Space Environ Med 2006., 77., p. 857-863. www. safetycenter.navy.mil/media /approach/issues/mayjun05/pdfHypoxiainthe Hornet.pdf
[26] 2009-ben megtartott bázisszintű Repülésbiztonsági Konferencia jelentése alapján.
[27] NESTHUS, T.E., RUSH, L. L., WREGGIT, S. S. (United States. Office of Aviation Medicine. & Civil Aeromedical Institute). Effects of mild hypoxia on pilot performance at general aviation altitudes DOT/FAA/AM-97/9. 1997. http: // purl. access. gpo. gov / GPO / LPS84887
[28] SMITH, A. M. (2005). Hypoxia symptoms reported during helicopter operations below 10,000 ft: a retrospective survey. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 76, 794-799.

Afganisztáni hadműveletben (Operation ISAF ANACONDA) harci helikopterek 700 méteres tengerszint fölötti magasságból indulva 2000-3500 méter közötti magasságban támadtak célpontokat: a gyors bevetéssel párosuló fizikai aktivitás, a rossz időjárási körülmények miatt a kórházi felvételt indokló állapotromlás 12 %-ában a magashegyi betegség tünetei domináltak.[29] [21]

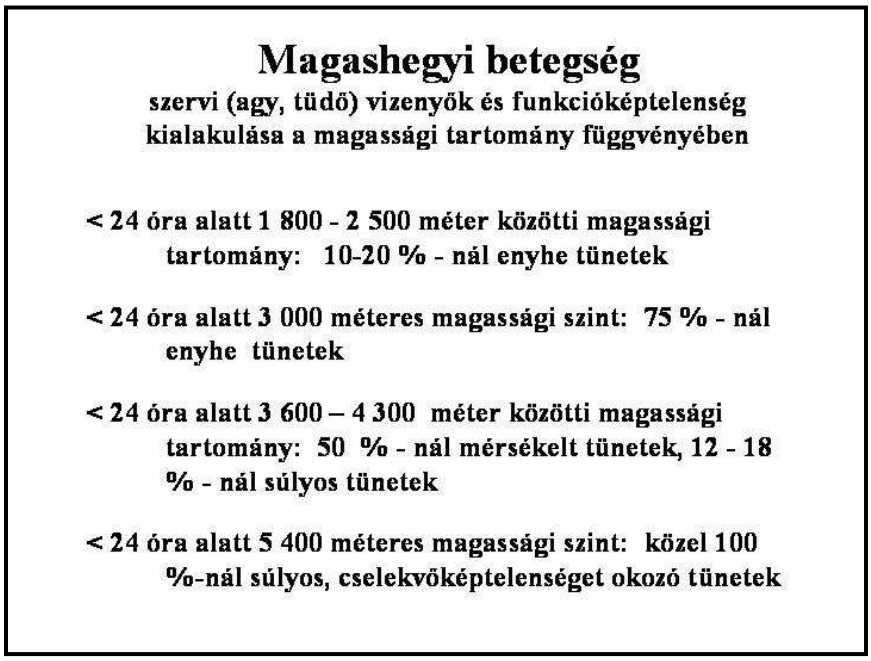
Korábban felmerült, hogy MEDEVAC küldetések során a hypobaria-hypoxia ronthatja a keringést, hozzájárulhat a vizenyő és izomelhalás fokozódásához a sérült végtagban.[30] [20] A NATO Egységes Védelmi Előírásban (STANAG 3204 Légi egészségügyi kiürítés témakörében) limitáló, a merevszárnyú repülőeszközön történő kiürítést akár ellenjavalló tényező a csökkent vérsűrűség (haematokrit) például vérveszteség miatt, hiszen ilyenkor az anemiás (vérszegénység miatti) és hypobáriás (légnyomás csökkenés miatti) hypoxia kedvezőtlen hatása összeadódik.

A hypobáriás hypoxia hosszabb idő alatt a magashegyi hadműveletekben résztvevő csapatok általános harcképességét is nagymértékben befolyásolja; minél rövidebb idő alatt minél magasabbra kell feljutniuk és fizikai erőt kifejteniük, annál súlyosabb formájában jelentkezik a magashegyi betegség tüdő- illetve agyvizenyővel járó formája. Ezt a veszélyt, ennek kezelést, megelőzését az AMedP-14 NATO Szövetségi Publikáció - ***„Klimatikus és környezeti tényezők által okozott sérülések megelőzése és kezelése"-STANAG 2458*** - részletesen tárgyalja. [32] ***(4. ábra)***

Összetettebb a térbeli dezorientáció hatása a hiba mechanizmusában: a tájékozódóképesség teljes elvesztése közvetlenül is balesethez vezethet (I. hiba), vagy „csak" dezorientációs stresszt okoz, ami lelassítja, széttördeli a pilótamunkát (II. típusú hiba). Az USAF felmérése szerint 1990-2004 között a repülőbalesetek 11 %-a volt visszavezethető térbeli dezorientációra (ez 2,9 eset/1 millió bevetés), ennek 69 %-a volt végzetes kimenetelű, főleg támadó harcigépeken és helikoptereken. Az éjszakai eseteket elemezve 23 %-kal volt magasabb a lezuhanás, katasztrófa aránya.[31] [13]

Különösen kritikus lehet az éjszakai bevetés NVG alkalmazása mellett. 2006-2008 között az Amerikai Hadsereg (US Army) szervezeti kötelékében 87! „A" osztályú végzetes repülőbaleset volt („B" osztályú, kevésbé súlyos 124 eset, „C" osztályú 417 eset) térbeli dezorientáció miatt , az esetek 43 %-ában a baleset az Éjjellátó készülék (NVG) alkalmazásával volt összefüggésben.[32] [10] Különösen gyakori, hogy sivatagi körülmények között a leszállás során felkavart por okoz látási – tájékozódási nehézséget: ez a „brown-out" vagy „minden barna" jelenség, mely 1991 óta 230 repülőgép balesethez/sérüléshez vezetett az amerikai szárazföldi haderőnem repülő alakulatainál. (Ezen belül 2002-2005 között 41 repülőgépet vesztettek, 80 %-ot leszállási manőver közben). Az Egyesült Királyság légiereje 2000-2007 között 16 repülőgépet vesztett ugyanilyen okok miatt.[33] [29]

[29] RÖDIG, E.: 2nd Flight Physiology USER MEETING Zágráb, 2009. szeptember 04-06. (előadás)
[30] RITENOUR, A.E., CHRISTY R.J. ET AL: The Effect of a Hypobaric, Hypoxic Environment on Acute Skeletal Muscle Edema after Ischemia-Reperfusion Injury in Rats. Journal of Surgical Researh. Online 2009. május 3. óta.
[31] LYONS, T.J., ERCOLINE, W., O'TOOLE, K.: Aircraft and related factors in crashes involving spatial disorientation: 15 years of USAF date. Aviat Space Environ Med 2006. 77. p. 720-723.
[32] JOHNSON , C.W.: 2nd Flight Physiology USER MEETING Zágráb, 2009. szeptember 04-06 (Vine, D.C előadása, AMST)
[33] VINE , D.C.: 2nd Flight Physiology USER MEETING Zágráb, 2009. szeptember 04-06 (Vine, D.C előadása, AMST)



4. ábra: A hosszútávú hypobáriás hypoxia és következményei

Ritkább, hogy a pilóta elbizonytalanodása és pszichés teljesítőképességének csökkenése (II. hiba) vezethet katasztrófához, illetve a repülési ambíció elvesztéséhez, averzió (elfordulás) kialakulásához, ami ma is letiltási ok lehet. Nagymagasságú, ingerszegény környezetben történő repülés során (a horizont bizonytalan, a relatív elmozdulást külső vizuális megerősítés nem kíséri) disszociatív (kiszakadási) szenzáció, elszakadás érzés[34] léphet föl. A pilóta úgy érzi, hogy kilép a testéből, vagy mint egy aranyhal utazik a nagy semmiben[35], illetve egy óriás hordozza a tenyerén[36]. Angol felmérések szerint a pilóták 14 - 35 %-a tapasztal ilyet és ezek 1/3-ánál a jelenség nyugtalanító, zavart provokáló; ha generalizált nyugtalansághoz vezet, végül is a repüléshez nélkülözhetetlen önbizalom elvesztése, a repüléstől való félelem, sőt teljes elfordulás lehet az eredménye.

A mai hosszútávú bevetések időbeli lefolyását tekintve a kifáradás (és a monotónia miatt a II. típusú dezorientáció stressz lehetősége) óhatatlanul jelentkezik. Az amerikai szárazföldi bázisról induló stratégiai bombázó légiszemélyzete háromszori légi utántöltéssel akár 50 órán keresztül repül, teljesíti a bevetést és tér haza, miközben kimutatható, hogy 17 órás repülés 0,05 %, 24 órás ébrenlét pedig 0,10 % véralkohol koncentrációnak megfelelő szellemi teljesítmény csökkenést idéz elő: ez még az USA-ban is tiltott szintnek számít! A több időzónás transzkontinentális repülések felborítják az alvás-ébrenlét megszokott ritmusát, a pilóták hirtelen fáradtságról, máskor szokatlan álmatlanságról panaszkodhatnak. Ennek gyógyszeres befolyásolása, az optimális teljesítmény időzítése a serkentők („go pills") és altatók („no-go pills") gondos megválogatásával lehetséges (természetesen előzőleg

[34] break off - kilépési effektus
[35] goldfish bowl - aranyhal effektus
[36] giant hand – óriáskéz effektus

földi szolgálat mellett kell a gyógyszert beállítani, figyelve az esetleges egyedi mellékhatásokra).[37] [20] Az 1970-es években megjelenő pszichofiziológiai szemlélet ezért helyez nagy hangsúlyt a repülőmunka pszichikai sajátosságaira, a pilótával szemben támasztott ergonómiai követelményekre, törekszik a funkcionális tartalékok felmérésére, az esetleges korai kifáradás előrejelzésére.[38, 39] [9, 26]

PILÓTAHIBA KIVÉDÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI
a standardizáció szempontjából

A hajózóállomány repülőorvosi kiképzésével, alkalmassági minősítésével kapcsolatos módszertani és technikai Egyezmények célja kettős: földi szimulált és kontrollált környezetben (de azért a valóságos kihíváshoz közelítve) mutassa be az adott repülésélettani stresszor potenciális hatását az emberi szervezetre, ezzel szemléltesse a pilóta számára a folyamat dinamikáját. Másrészt a technikai védelem megfelelő alkalmazásával tanulja meg és kellő magabiztossággal hajtsa végre a vészhelyzetben szükséges eljárásokat, azért, hogy „éles" helyzetben időveszteség nélkül tudjon cselekedni. Ahogy a kiképzésekkel foglalkozók mondják: „Train as fight, fight as train!" (Úgy légy kiképezve, mintha harcolnál, és úgy harcolj, mintha a kiképzést hajtanád végre!)

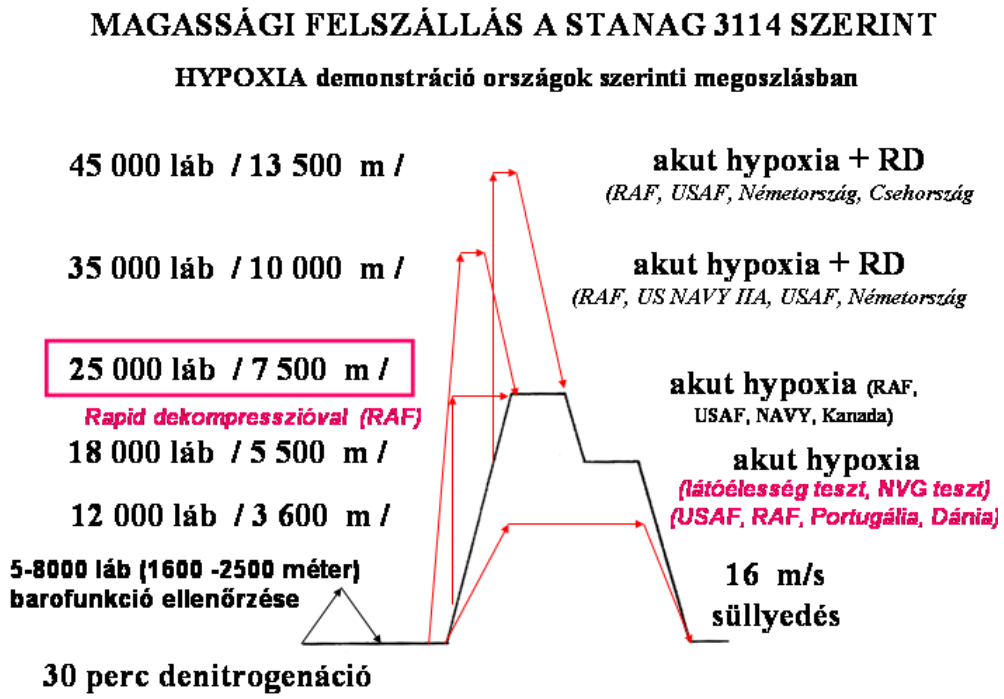
A legnagyobb és legfontosabb a *STANAG 3114 (Hajózó állomány repülőorvosi kiképzése),* mely Függelékekben részletezi a pilóták alapkiképzésekor és ismétlő tanfolyamain végrehajtandó repülőorvosi demonstrációk, tréningek, kiképzések rendszerét. (Korábban egységes volt, hiszen a gyorsulás-túlterhelés, hypoxia és térbeli dezorientáció elleni védelem is ebben az Egyezményben szerepelt, jelenleg a centrifuga terheléssel kapcsolatos Egyezmények már különválnak, önálló Egyezményekben szerepelnek). Nagy hangsúlyt fektetnek a kiképzés során a kezdeti fázisban a pilótajelöltek általános repülésélettani kiképzésére, összesen 20 óra tejedelemben, míg az ismétlő, felfrissítő tanfolyamon a hangsúly inkább a gyakorlati oktatáson van, a repült típus függvényében, összesen 5 óra terjedelemben. Nincs egyetértés a különböző országok között a vizsgálatok gyakoriságát, illetve típusát érintően: barokamrában lehetnek például csak az oxigénhiányt szemléltető profilok, vagy túlnyomásos lélegeztetés szemléltetésével kiegészítve, vagy rapid dekompresszióval (a kabinnyomás elvesztését imitálva) kombináltan hajtják végre.

Erre vonatkozóan még a standardizáció folyamata előtt a NATO RTO Kutatási és Technológiai Szervezete tartott egyeztető fórumot, egymás módszereinek jobb megismerése céljából.[40] [33] Az országok többsége – bár a repült géptípusok függvényében bizonyos egyedi barokamrai felszállási protokolokat is kidolgoznak és végrehajtanak (12 000 és 45 000 láb, azaz 4000-13 5000 méter között) - alaprezsimként elfogadja az évente, 25 000 láb (kb. 7600 méteres) magasságnak megfelelő

[37] RÖDIG, E.: 2nd Flight Physiology USER MEETING Zágráb, 2009. szeptember 04-06. (előadás)
[38] HIDEG,, J.: A magyar űrhajósjelöltek kiválogatása és az első szovjet-magyar űrrepülés során szerzett tudományos tapasztalatok felhasználása vadászpilóták alkalmasságának elbírálásában. Hadtudományi értekezés, 1981. p. 1-5.
[39] SZABÓ, J. (Ed.): Repülési Lexikon 1991, Akadémiai Kiadó, Budapest, II. kötet , p. 172.
[40] NATO RTO (AGARD) Meeting Proceedings 21 (RTO-MP-21, AC/323(HFM)TP/8): Aeromedical Aspects of Aircrew Training. 1999. június.

hypobárikus hypoxia demonstrációját barokamrában, ellenőrzött körülmények között, instruktor, oktató pilóta vezetésével. ***(5. ábra)***

De vannak új, meghökkentő elképzelések is: az EFA 2000 Eurofighter rendszerbe állítása kapcsán a Brit Királyi Légierő 59000 láb (kb. 18 ezer méteres) magasságnak megfelelő explozív dekompressziós profilt is tervez![41]



5. ábra: A hypoxiás edzésmódszerek profiljai különböző NATO országokban

A hajózó állomány elméleti oktatása az éves repülőalkalmassági vizsgálat (ROB) keretében végrehajtható, a szükséges technikai háttér biztosítható. De a legfontosabb a hypoxiaélmény tudatosítása: a felszállás után a pilótákkal történő egyénre lebontott, individuális elemzés, hogy jobban tudatosuljon a mentális deficit, és kellő önbizalommal értékeljék limitált teljesítményüket (például kártya felismerés és összeadás, labirintus feladat megoldása stb.) Ilyen hypoxia-tudatos kiképzést a katonai és polgári repülésben egyaránt fontosnak tartanak, pszichomotoros feladatok értékelésével.[42] [24]

A térbeli dezorientáció elleni kiképzés alapvetően GYRO rendszerű forgó szimulátor és éjjellátó készülékkel történő terepasztal gyakorláson, szimulált repülési feladatok végrehajtásán alapul. Ennek a repülésbiztonság szempontjából óriási jelentősége lenne, tekintve a térbeli tájékozódóképesség elvesztésére visszavezethető balesetek növekvő arányát. Különösen a megközelítés-leszállás fázisában jelentkező illúziók kivédésének gyakorlása lenne fontos. Miközben a megközelítés és leszállás a

[41] 2007. AMDP Panel ülés szóbeli angol nemzeti kommentár, Cesme, Törökország.
[42] STEPANEK, J., BUCK, C., HOLETS, S.: Hypoxia awareness training: past, present and future developments. Mayo Clinic Rochester, MN. Aviat. Space Environ Med 2004., 75., B56 AsMA Meeting Abstracts

repülési idő alig 4 %-át teszi ki, a balesetek 52 %-a ekkor következik be, 55 %-uk a légi személyzet hibája miatt, egyik vezető okként a kontrollált Földnek repülés esetével.[43] [7]

Csak az amerikai légierő (USAF) az utóbbi 15 évben 82 pilótát vesztett térbeli dezorientáció miatt (az utóbbi 4 évben 4 pilótát), és az anyagi kér elérte az 1,9 milliárd dollárt. Ez a szám az összes „A" osztályú (legsúlyosabb) légibalesetek 20 %-át teszi ki a fenti időszakban. Az amerikai haditengerészetre (US NAVY) a térbeli dezorientáció okozta halálos légibaleset részaránya 15 %, a szárazföldi haderőnemre (US ARMY) vonatkozóan 30 %.[44] [5] Az Egyesült Királyságban 1982-2002 között a vadászgépek esetében a balesetek 25 %-a következett be térbeli dezorientáció miatt, a helikopter balesetek 30 %-ánál elsődleges ok volt a tájékozódóképesség elvesztése (80 %-ban a pilóta nem is ismerte fel, hogy dezorientált!).[45] [3]

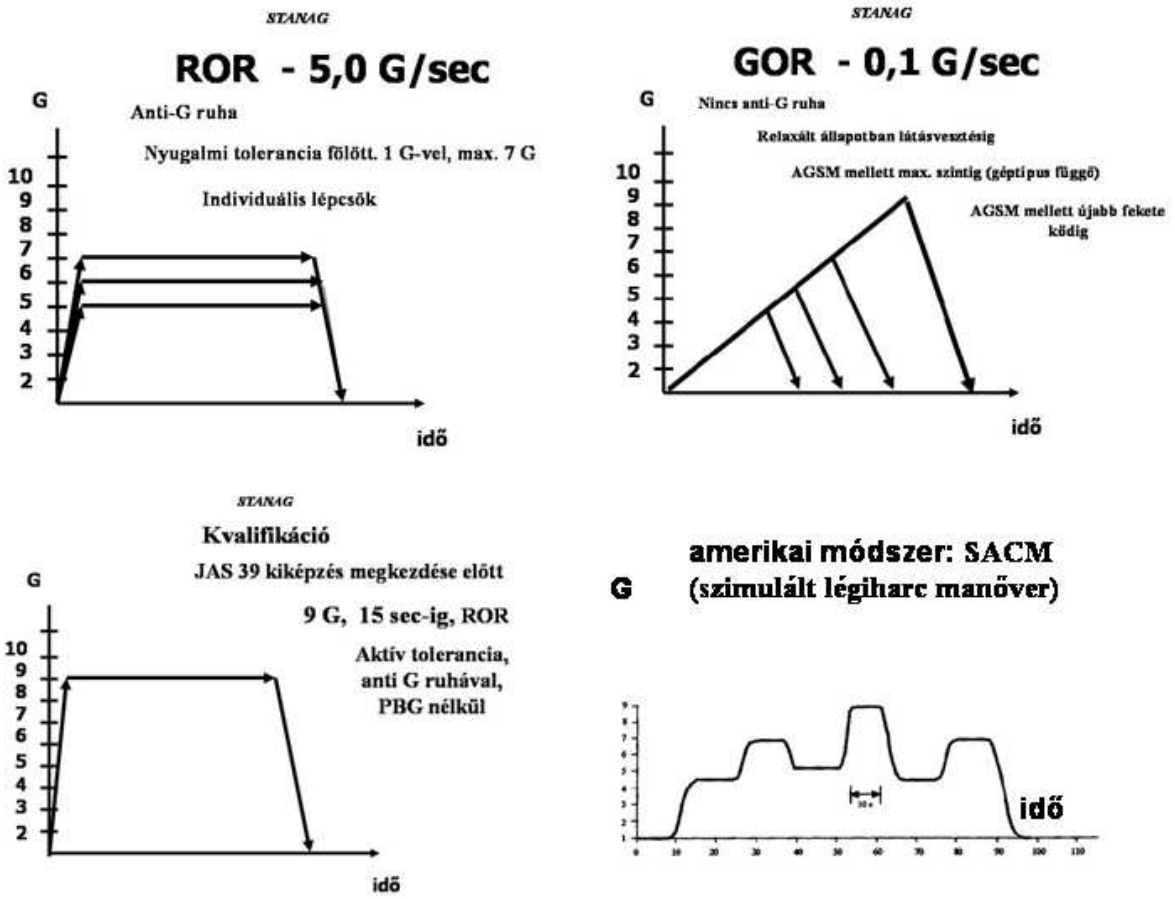
A legmodernebb szimulátorok (az ETC cég GYROLAB illetve az AMST cég AIRFOX DISO berendezése mellett a holland légierő új berendezése, a DESDEMONA említhető meg) alkalmasak nemcsak a látórendszert érintő típusos illúziók, de egyéb – belsőfül, illetve helyzet/nyomás érzékelő graviceptor eredetű – illúziók élethű demonstrálására illetve a műszeres repülés begyakorlására ilyen körülmények között is. (Fontos különbség: ezek nem teljesértékű (full mission) repülési szimulátorok, hanem „csak" élettani demonstrációra szolgáló berendezések, így költségvonzatuk alacsonyabb!)

Nagyon fontos lenne a legfrissebb hadműveleti tapasztalatok alapján az éjjellátó berendezéssel történő repülés szimulált végrehajtása is, mellyel külön Egységes Védelmi Előírás (STANAG 7147 Éjjellátó berendezés alkalmazására történő kiképzés repülőorvosi szempontjai) foglalkozik. Európában egyedülálló módon az osztrák AMST cég az, amely NATO tagországok számára is komplex kiképzést biztosít a terepasztal gyakorlat és a repülési feladat végrehajtásával, az éjjellátó készülék integrált alkalmazásával (INVTS).[46]

A túlterhelés okozta eszméletvesztés kivédésére irányuló legfontosabb Egységes Védelmi Előírás a STANAG 3827: Tartós G túlterhelési tréning kapcsán megvalósítandó minimális feltételek. *Tagadhatatlan, hogy a centrifuga edzések bevezetése a G—LOC (akár halálos kimenetű) arányát jelentősen csökkenti, szükség van rá. Az USAF adatai szerint 1/3-ára csökkent az előfordulás, jelenleg 1,6 G-LOC eset jut 1 millió bevetésre.[47] [12].*

[43] GIBB, R.W.: Visual spatial disorientation: revisiting the black hole illusion. Aviat Space Environ Med 2007., 78., p. 801-808. in Boeing Statistical summary of commercial jet airplane accidents http:// www. boeing. com /news / techissues / pdf1. statsum. pdf
[44] ERCOLINE, W.: 2nd Flight Physiology USER MEETING Zágráb, 2009. szeptember 04-06. (előadás)
[45] DAULBY, D.: 2nd Flight Physiology USER MEETING Zágráb, 2009. szeptember 04-06. (előadás)
[46] INVTS: Integrated Night Vision Training System.
[47] LYONS,T., DAVENPORT, C., COPLEY, B., BINDER, H.: Preventing G-induced loss of consciousness: 20 years of operational experience. Aviat Space Environ Med 2004., 75., p. 150-153.

Az Egyezmény a centrifuga- kiképzés követelményeivel foglalkozik, + 7 Gz-t 15 sec-ig meghaladó, 1 G/ sec-nál nagyobb sebességgel fellépő G gyorsulási környezetben. Meghatározza az egészségügyi személyzet feladatait: ezek a minősítés elvei, a G-LOC ismertetése, familiarizálás, azaz a tünetekkel történő minél alaposabb és szemléltetőbb megismerkedés a demonstráció során. Ismerteti a technikai minimális feltételeket, de tág teret enged a nemzeti saját minősítési rendszereknek, eljárásoknak. Jelenleg a Gripen program keretében végrehajtott DSF (Dinamikus Repülési Szimulátor, Linköping, Svédország) centrifuga edzés és minősítés teljesen megfelel a NATO standardizációs elvárásainak, sőt annál szigorúbb: 15 másodpercig 9 Gz fej-far irányú túlterhelést kell kibírnia a jelöltnek. Elméleti előadások után a nyugalmi G-tűrőképességet határozzák meg, majd lassú „felpörgetés" (GOR: 0,1 G/sec gyorsulás növekedés) kapcsán edzések következnek, a maximális túlterhelés fokozatos emelésével és a kompenzáló AGSM feszítési manőver mind tökéletesebb elsajátításával. A végcél az, hogy a Gripen jelölt a 9 G-s túlterhelést 15 másodpercig bírja ki eszméletvesztés nélkül, gyors felpörgetéssel (ROR: 5 G/sec)[48] is, anti-G ruhában. Ez több, mint ami a NATO szabványban minimumként szerepel! A centrifuga futam minősítő jellegű, és a lépcsőzetes, fokozatos kiképzésnek köszönhetően eddig minden magyar pilóta teljesíteni tudta. ***(6. ábra)***



6. ábra Lassú (GOR) és gyors (ROR) ütemű túlterhelés a svéd GRIPEN programban, valamint a szimulált légiharc profilja.

[48] GOR: gradual onset rate, ROR: rapid onset rate. A centrifuga lassú illetve gyors felpörgetése.

Centrifuga tréningre vonatkozóan a vezető nemzetek többsége 7 Gz fölötti (hossztengelymenti, fej-láb irányú) terhelések kapcsán a rendszeres edzést és a minél valósághűbb (esetleg feladat végrehajtással egybekötött) szimulációt tartja fontosnak. A németek például az Eurofighter kapcsán az első 4 év alatt 3-5 alkalommal minősítik az EFA pilótákat, illetve átképzésre jelölteket. A Repülőorvosi Panel állásfoglalása szerint a folytatólagos, vagy ismétlődő centrifuga kiképzés kívánatos, de nem kötelező, ha valaki folyamatos, előrehaladó repülőkiképzést folytat.

Az amerikai álláspont kissé eltér az európai nemzetek többségétől, hangsúlyozza a szimulált légiharc manőver[49] végrehajtásának fontosságát, az 1990-es években elsősorban a légierő kiképző gépein előforduló gyakori G-LOC esemény miatt.[50] Mitchell és Deaton felmérése szerint a többi repült típushoz képest szokatlan mértékben halmozódtak a túlterhelés miatti eszméletvesztések a légierő T-37-es kiképző repülőgépein (220 eset a légierőnél, csak 46 eset a haditengerészetnél.) Megfelelő centrifuga edzések bevezetésével illetve a T-6 Texane II kiképző gép alkalmazásával, az anti G feszítési manőver szisztematikusabb gyakoroltatásával a G-LOC jellegű incidensek előfordulása jelentősen csökkenthető volt. A G-LOC kapcsán fellépő eszméletvesztés amerikai vélemény szerint hasznos lehet, ismételt átélése lerövidítheti a teljes emlékezet kiesés periódusát, a pilóta hamarabb magához tér az álomszerű állapotból, ha ismételten van kitéve neki. Ezt az elvet korábban James Whinnery tábornok (pilóta és orvos) ismertette először[51] [17], de az európai NATO tagországok nem fogadták el ezt az álláspontot: a jelenleg érvényben levő szabvány a centrifuga edzés hatékonyságára minimum 7 G fej-far irányú túlterhelés 15 másodpercig, anti G ruha nélkül és AGSM feszítési manőver alkalmazásával, de nem elvárt a teljes eszméletvesztés!

Érdekes, hogy az egyezmény még nem tárgyalja a gyorsulás ellen védő ruha és túlnyomásos légzés együttes alkalmazását, vagy annak minősítését, pedig ez a COMBAT EDGE[52] rendszer (kombinált továbbfejlesztett G ruhaegyüttes) 7-9 Gz túlterhelés közötti tartós munkavégzést is lehetővé tesz, a folyamatos izomfeszítés kényszere nélkül. [30]

Külön Egységes Védelmi Előírás foglalkozik a *G túlterheléssel szemben védő rendszerek minimum követelményei*-vel, ez a STANAG 3200. Az anti-G ruha és szelep fizikai paramétereit tárgyalja, valamint a minimális követelményeket rögzíti. A rendszer biztosítja, hogy az anti-G nadrág gyors felfújással a vér áthelyeződését az alsó testfél felé megakadályozza. Ezt a követelményt a Gripen magassági és anti-G ruhája a teljes gyorsulási tartományban biztosítja: az egytömlős rendszerű anti-G nadrág 2-9 G között fúj fel, próbababán 20 kPa teszt nyomásig, éles helyzetben azonban akár 72 kPa-ig (100 kPa = 1 atm = 760 Hgmm). Németország alternatív véleménye szerint a folyadékkal töltött anti-G ruha (Libelle Plus) is élettanilag kellő védelmet nyújthat (ugyanaz a hidrosztatikai gradiens

[49] SACM: simulated air combat manoeuvre
[50] NATO Repülőorvosi Munkacsoport 2002. ülése, Brüsszel.
[51] PÁSZTI, ZS.: USAFSAM Amerikai Légierő Repülőorvosi Haladó Tanfolyam, AFB Brooks, Texas, 1998.
[52] ZHANG, L: Cognitive performance and physiological changes in females at high G while protected with COMBAT EDGE and ATAGS. Aviat Space Environ Med 1999., 70., p. 857-862.

felépül a ruha belsejében, mint a szervezetben és kívülről kellő ellennyomást ad minden testrészre). A hőkomfort biztosítása szempontjából talán még előnyösebb is lehet, bár nehezebb benne mozogni.

A pilóták közvetlen egészségvédelmével 3 fontosabb Egyezmény foglalkozik: a hajózóállomány ideiglenes letiltásai, a pihenési rezsimek előírásai (a repült óraszám maximálása) azt a célt szolgálják, hogy külső, a pilóta egészségi állapotát, reakció készségét rontó tényezők esetén csak átmeneti földi szolgálat után térhessen vissza a repüléshez a pilóta.

Ezek közül a legfontosabb a *STANAG 3474 Átmeneti repülési korlátozások külső tényezők miatt*, mely az ideiglenes repülési letiltások, átmeneti földi szolgálatok egyes eseteit elemzi. Foglalkozik a gyógyszerszedéssel, oltásokkal, véradással, dekompressziós vizsgálat ill. búvármerülés, extrém sportterhelés utáni alkalmassággal: ezek általában 24–48 órás letiltást, földi szolgálatot jelentenek. (A tartós gyógyszerelést indokló idült betegségek minősítése illetve a megengedett gyóygszerek listája még most van nemzetközi egyeztetés alatt.

A *STANAG 3526 „A NATO repülőszemélyzetek repülőorvosi kategóriái, egyenértékűségük-felcserélhetőségük biztosítására" témakörben ré*szletezi a repülőszemélyzet kategóriáit, minősítési elveiket, NATO országok között az orvosi adatok közlésének feltételeit. Az Egyezmény előírja, hogy 30 nap után a fogadó nemzet felelőssége az egészségügyi biztosítás és minősítés akut betegség esetén. Ha komolyabb, elhúzódó betegség áll fenn, az anyanemzet repülőorvosa rendelkezhet a kivizsgálás menetéről. Ismert, kivizsgált, anyaországban minősített, esetleg gyógyszeresen kezelt egészségi állapotot el kell fogadni.

A *STANAG 3527 (Hajózóállományra vonatkozó repülési idők és pihenési rezsimek)* maximálja az egyes egy-, illetve többszemélyes, túlnyomásos, vagy nem hermetizált kabinnal rendelkező géptípusokon a havonta, negyedévente, évente repülhető óraszámot. Figyelembe kell venni a tényleges kiképzési repülések mellett egyre nagyobb arányban megvalósuló szimulátor képzéseket (30 % full mission simulator, azaz teljes bevetésnek megfelelő), melyeket sok ország egy az egyben átszámít repült kiképzési időtartamként. Természetesen csak felső határt állapít meg, amitől a jelenlegi gazdasági lehetőségeket figyelembe véve messze vagyunk, pilótáink távolról sem merítik ki a repülőorvosi szempontból megengedhető időkeretet. Ugyanakkor távlatilag (az Egyezményre javasolt új megnevezésből, a „Kifáradás menedzselése" címből kiindulva), az operatív érdekből alkalmazott pszichostimuláns, fáradság elleni gyógyszerek alkalmazási protokolja is belekerülhet, ami már etikai aggályokat is felvethet az egyes nemzetek részéről.

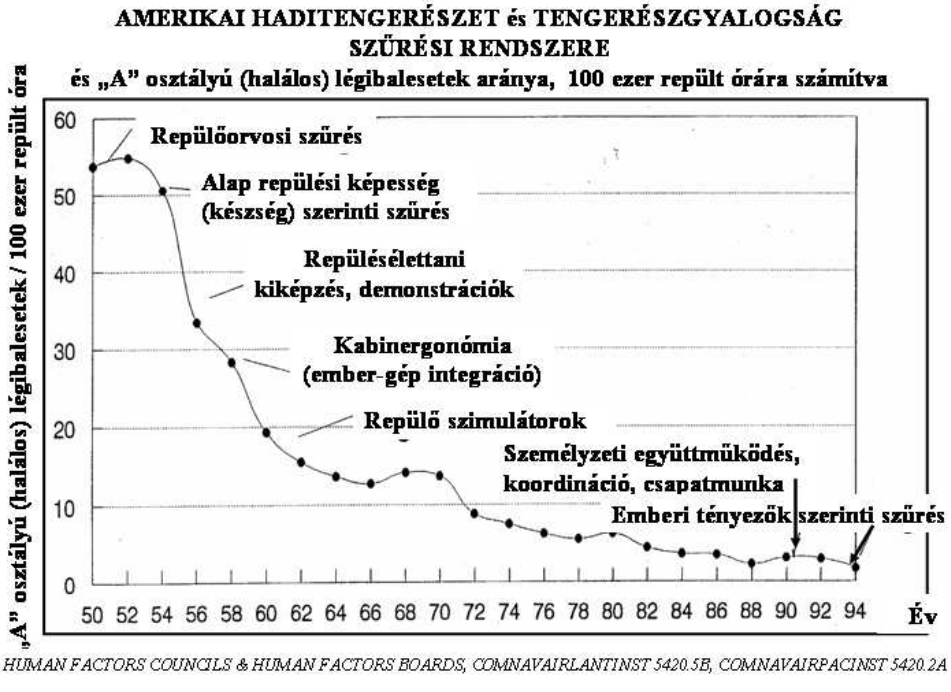
Kétségtelen, hogy a nagyszámú bevetés okozta fizikai terhelés, igénybevétel elviselésére a pilótát már békeidőben fel kell készíteni.[53] [28] Hosszú idejű bevetések során a teljesítőképesség fenntartása céljából az amerikaiak intenzíven kutatják az ébrenlét-alvási ciklust befolyásoló (altató, illetve élénkítő) hatóanyagok alkalmazását.[54] [16] Míg korábban amphetamin jellegű pszichostimulánsok

[53] VARGA, F.: A Légiharc változása az I. világháborútól napjainkig. PhD értekezés Bp., 2001., p. 42
[54] PAUL, M.A., GRAY, G., MACLELLAN, M., PIGEAU, R.A.: Sleep-Inducing Pharmaceuticals: a comparison of Melatonin, Zaleplon, Zopiclone, and Temazepam. Aviat Space Environ Med 2004. 75. p. 512-518.

(élénkítők) harctéri körülmények közötti tesztelése folyt, jelenleg a RTO/AGARD „WG 26” Munkacsoporttal közösen a Modafinil, a központi idegrendszerben több támadásponttal rendelkező, az ébrenléti szintet emelő hatóanyag tesztelése folyik: önkéntes jelentkezőkön több mint 60 órás, hatékony pszichés tempót és cselekvőképességet lehetett vele fenntartani, mellékhatás nélkül.[55] [18]

BEFEJEZÉS

A hypoxia, dezorientáció és a túlterhelések (mint humán szempontból vezető légibaleseti okok) elleni technikai védelemre és kiképzésre fókuszálva áttekintettem a NATO Repülőorvosi Panel által gondozott legfontosabb Egyezményeket. Megállapítható, hogy a NATO az egységesítési folyamatban nagy hangsúlyt fektet a pilóták repülésélettani stresszorokkal szembeni kiképzésére. Megkezdődött a letiltások és a „különleges elbírálással” történő repültetés egységes szerkezetbe foglalása is. Joggal reménykedhetünk abban, hogy miként a múltban az első szimulátorok és kiképzési metodikák lényegesen javították a repülésbiztonsági mutatókat, úgy a jövőben is a legújabb repülésélettani kihívásoknak megfelelő demonstrációk tovább javítják a humán tényező „hibamentes” működésének lehetőségét, fenntartva a pilóta cselekvőképességét és mentális teljesítményét a kritikus helyzetekben is.[56] [34] ***(7. ábra)***



7. ábra: A humán tényező szűrővizsgálati és kiképzési rendszerének hatása a repülésbiztonságra

[55] PIERARD,C., LALLEMENT, G.: MODAFINIL: A Molecule of Military Interest. In RTO Technical Report 14, Medication for Military Aircrew. RTO-TR-014 AC/323 (HFM-014)TP/14

[56] Human Factors Councils & Human Factors Boards, Comnavairlantinst 5420.5b, Comnavairpacinst 5420.2a https://www.netc.navy.mil/nascweb/sas/files/5420-2.pdf

Biztató, hogy a mi válogatási elveinket mind Kanada (NATO ország), mind Svédország (nem NATO ország, de a repült géptípusok gyakorlatilag NATO elvárásoknak megfelelőek, nemzetközi konzorcium gyártja őket) a gyakorlatban is elfogadta. Vagyis a minősítési elveink a gyakorlatban is kompatibilisak a nemzetközi NATO elvárásokkal. Tartalmi szempontból fő feladatunk a hajózók repülőorvosi kiképzésének rendszeres áttekintése, nagyobb hangsúly fektetése az elméleti oktatás mellett a gyakorlati oktatásra és a demonstrációk bővítésére. Már megvalósult a hypoxiás tréning 7600 - 8000 m-en, szükség van a térbeli dezorientációs tréning kidolgozására, és az éjjellátó berendezés rendszeresítése esetén a dezorientációs tréning részeként speciális terepasztal és forgó GYRO szimulátor oktatásra is. A centrifuga tréning lehetőségének megteremtése más országban (a Gripen átképzés időszakában Svédországban, később esetleg Lengyelországban) jön szóba, esetleg már a szelekciós szakaszban. Az erősen technika/létesítményfüggő STANAG-ek (centrifuga, térbeli dezorientáció, vízalatti légzőkészülék, NVG éjjellátó berendezés) esetében a NATO-n belüli kooperáció keresése lehet a megoldás, a ratifikálás addig pusztán elméleti elkötelezettséget jelent, tényleges végrehajtás nélkül. A Gripen program keretében a repülőműszaki szakemberekkel és az Összhaderőnemi Parancsnokság pilóta, mérnök-műszaki és egészségügyi szakembereivel rendszeres információ cserére van szükség, a beszerzendő eszközök (fedélzeti oxigénkészülék, pilóta védőfelszerelés, CBRN[57] elleni esetleges védelem, NVG) NATO kompatibilitásának megítéléséhez.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] ARTINO, A.R., FOLGA, R.V., SWAN, B.D.: Mask-on hypoxia training for tactical jet aviators. Aviat Space Environ Med 2006., 77., p. 857-863. www. safetycenter.navy.mil/media /approach/issues/mayjun05/pdfHypoxiainthe Hornet.pdf

[2] CHAPPELOW, J.W.: Error and accidents. In Ernsting, J. (Ed.): Aviation Medicine Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000, 3. Kiadás, p. 599.

[3] DAULBY, D.: 2nd Flight Physiology USER MEETING Zágráb, 2009. szeptember 04-06. (előadás)

[4] DUDÁS, Z: Repülésbiztonsági kockázat, repülésbiztonsági felelősség. www.szrfk.hu */rtk /kulonszamok/ 2009 cikkek / Dudas_Zoltan.pdf*

[5] ERCOLINE, W.: 2nd Flight Physiology USER MEETING Zágráb, 2009. szeptember 04-06. (előadás)

[6] ERNSTING, J. (Ed.): Aviation Medicine Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000, 3. Kiadás, p. 599.

[7] GIBB, R.W.: Visual spatial disorientation: revisiting the black hole illusion. Aviat Space Environ Med 2007., 78., p. 801-808. in Boeing Statistical summary of commercial jet airplane accidents http:// www. boeing. com /news / techissues / pdf1. statsum. pdf

[8] GREEN, N.D.C., FORD, S.A.: G induced loss of consciousness. Retrospective survey results from 2259 military aircrew. Aviat Space Environ Med 2006., 77., p. 619-623.

[9]HIDEG,, J.: A magyar űrhajósjelöltek kiválogatása és az első szovjet-magyar űrrepülés során szerzett tudományos tapasztalatok felhasználása vadászpilóták alkalmasságának elbírálásában. Hadtudományi értekezés, 1981. p. 1-5.

[10] JOHNSON , C.W.: 2nd Flight Physiology USER MEETING Zágráb, 2009. szeptember 04-06 (Vine, D.C előadása, AMST)

[11] KNAPP, C.J., JOHNSON, R. : F-16 Class A mishaps in the U.S. Air Force, 1975 - 93. Aviat Space Environ Med 1996., 67., p. 777-783.

[12] LYONS,T., DAVENPORT, C., COPLEY, B., BINDER, H.: Preventing G-induced loss of consciousness: 20 years of operational experience. Aviat Space Environ Med 2004., 75., p. 150-153.

[13] LYONS, T.J., ERCOLINE, W., O'TOOLE, K.: Aircraft and related factors in crashes involving spatial disorientation: 15 years of USAF date. Aviat Space Environ Med 2006. 77. p. 720-723.

[14] LYONS, T. J., KRAFT, N., COPLEY, B., : Analysis of mission and aircraft factors in G-induced loss of consciousness int he USAF: 1982-2002. Aviat Space Environ Med, 2004., 75., p. 479-481.

[57] CBRN: Chemical, Biological, Radiological, Nuclear: a vegyi, biológiai, atomfegyverek új terminológiája.

[15] NESTHUS, T.E., RUSH, L. L., WREGGIT, S. S. (United States. Office of Aviation Medicine. & Civil Aeromedical Institute). Effects of mild hypoxia on pilot performance at general aviation altitudes DOT/FAA/AM-97/9. 1997. http: // purl. access. gpo. gov / GPO / LPS84887

[16] PAUL, M.A., GRAY, G., MACLELLAN, M., PIGEAU, R.A.: Sleep-Inducing Pharmaceuticals: a comparison of Melatonin, Zaleplon, Zopiclone, and Temazepam. Aviat Space Environ Med 2004. 75. p. 512-518.

[17] PÁSZTI, ZS.: USAFSAM Amerikai Légierő Repülőorvosi Haladó Tanfolyam, AFB Brooks, Texas, 1998.

[18] PIERARD,C., LALLEMENT, G.: MODAFINIL: A Molecule of Military Interest. In RTO Technical Report 14, Medication for Military Aircrew. RTO-TR-014 AC/323 (HFM-014)TP/14

[19] REASON, J.: Human error: models and management. British Medical Journal 2000., 320., (7237) p. 768–770.

[20] RITENOUR, A.E., CHRISTY R.J. ET AL: The Effect of a Hypobaric, Hypoxic Environment on Acute Skeletal Muscle Edema after Ischemia-Reperfusion Injury in Rats. Journal of Surgical Researh. Online 2009. május 3. óta.

[21] RÖDIG, E.: 2nd Flight Physiology USER MEETING Zágráb, 2009. szeptember 04-06. (előadás)

[22] SHAPPELL, S. A., WIEGMANN, D. A. (1997). A human error approach to accident investigation: The taxonomy of unsafe operations. International Journal of Aviation Psychology, 7(4), 269-291. 1997

[23] SMITH, A. M. (2005). Hypoxia symptoms reported during helicopter operations below 10,000 ft: a retrospective survey. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 76, 794-799.

[24] STEPANEK, J., BUCK, C., HOLETS, S.: Hypoxia awareness training: past, present and future developments. Mayo Clinic Rochester, MN. Aviat. Space Environ Med 2004., 75., B56 AsMA Meeting Abstracts

[25] SVÉD, L.: A Magyar Honvédség egészségügyi biztosítása, elvének és gyakorlatának változásai, sajátosságai, különös tekintettel a haderő átalakításra, a NATO-ba történő integrálásra, a különböző fegyveres konfliktusok, valamint a békefenntartó, béketeremtő, és –támogató tevékenységre. PhD értekezés, 2003. ZMNE Hadtudományi Iskola, Budapest.

[26] SZABÓ, J. (Ed.): Repülési Lexikon 1991, Akadémiai Kiadó, Budapest, II. kötet , p. 172.

[27] THOMAS, T.K., et al.: Controlled Flight into Terrain Accidents Among Commuter and Air Taxi Operators in Alaska. Aviat Space Environ Med 2000., 71., p. 1098-1103.

[28] VARGA, F.: A Légiharc változása az I. világháborútól napjainkig. PhD értekezés Bp., 2001., p. 42

[29] VINE , D.C.: 2nd Flight Physiology USER MEETING Zágráb, 2009. szeptember 04-06

[30] ZHANG, L: Cognitive performance and physiological changes in females at high G while protected with COMBAT EDGE and ATAGS. Aviat Space Environ Med 1999., 70., p. 857-862.

[31] AsMA Amerikai Repülő- és Űrorvosi Társaság 96-3 határozata „Az emberi tényezők oktatásáról”. www. asma. org / publications / toc_compendium

[32] AMedP-14 NATO Szövetségi Publikáció - „Klimatikus és környezeti tényezők által okozott sérülések megelőzése és kezelése” - STANAG 2458

[33] NATO RTO (AGARD) Meeting Proceedings 21 (RTO-MP-21, AC/323(HFM)TP/8): Aeromedical Aspects of Aircrew Training. 1999. június

[34] Human Factors Councils & Human Factors Boards: Comnavairlantinst 5420.5b, Comnavairpacinst 5420.2a https:// www. netc. navy. mil/nascweb/sas/files/5420-2.pdf

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Prof. Dr. SZABOLCSI, Róbert[1],

UAV SPATIAL MOTION MODEL IDENTIFICATION

Abstract *UAV[2] includes wide variety of aircraft designed for special tasks. Many UAV applications use model aircraft to carry payload for several missions, i.e. UAV can be used for both non-military and military missions. Application of the common COTS[3] design philosophy generates many problems for designers having pure initial data of the aircraft. Flying in weak weather conditions, flying in pure visibility, and, finally flying beyond visual ranges requires automation of flight phases. Preliminary design of the autopilot systems requires of the dynamical model of the UAV. Purpose of the author is to give a methodology applied for identification of the UAV dynamical models used for automatic flight control systems' preliminary design purposes.*

I. INTRODUCTION

When the need of the UAV applications whether civilian or military arises several UAVs are available in the market to use. Many applications (i.e. border control, animal migration control, disaster monitoring, fire control etc.) generate need of the UAV flights by nights, or in poor visibility. This can be achieved by automation of the flight phases of the UAV flights. It is evident that any kind of automation and preliminary design of the automatic flight control systems of the UAV requires flight dynamics systems' models. A common question arises here: whether to buy, or to design a UAV for recce purposes? Present day there are lots of types of RC-models[4] of aircraft, which can fit preliminary requirements of test flights. The model aircraft market is full, and Cots-types can be chosen for research purposes. The article deals with problem statement of the identification of the UAV flight dynamics model, and with set-up of the identification process.

II. LITERATURE OVERVIEW

Author published series of paper dealing with conceptual design of UAVs both for military and non-military applications [1, 2, 3, 4, 5]. Dynamical system model identification is supported by MATLAB [6] and SIMULINK [8] progams supplemented with System Identification Toolbox [6]. For identification purposes there are given stochastic noise models applicable during identification [9]. Author dealt with identification problems of UAV dynamics in [10] and derived frame for the identification procedure.

[1] Col. (OF5) Miklós Zrínyi National Defense University, Deputy Dean in Sciences and International Affairs János Bolyai Military Technical Faculty, Institute Director of Automation and Robotics, Head of Department of Automation and Process Control. Address: H-1581 Budapest, POB 15., Hungary Email: szabolcsi.robert@zmne.hu
[2] **UAV** – **U**nmanned **A**erial **V**ehicle
[3] **Cots – C**ommercial-**o**ff-**t**he-**s**helves
[4] **RC** – **R**emotely **C**ontrolled

III. UAV MODEL IDENTIFICATION

The identification of the dynamical models has long history, and there are much powerful software supporting solution of this problem [6, 7, 8]. Being supported well in this field, author will give a short overview of the main principles and main steps of the identification process.

Dynamical system identification means estimating linear or nonlinear mathematical models to fit measured data from the dynamical system. The resulting dynamical model can be used for the analysis of the derived dynamical system, for the prediction of the system future responses, and finally, for the control design purposes. Identification based on system modeling cannot represent easily is called for *black-box* modeling. We can estimate linear mathematical models from data series given whether in time domain or in frequency domain.

Time domain data means one or more time domain inputs, $u_i(t)$, and one or more outputs, $y_i(t)$. Frequency domain data means the Fourier-transforms of the input and output time domain signals [6, 7, 8].

In general, the dynamical system identification might include following steps [6, 10]:

1. Experimental design and data acquisition.
2. Data analysis and preprocessing (plotting the data, removing offsets and linear trends, filtering, resampling, selecting new regions of the interest).
3. Estimation and validation of the dynamical models.
4. Model analysis and transformation (linear analysis, reducing model order, converting continuous models to discrete ones).
5. Model use for intended applications (simulation, prediction, preliminary control design).

It is well-known from control theory that system identification is an iterative process you identify dynamical models with different structures from the data and compare model performances. Finally, one chooses the simplest mathematical model that best describes the dynamics of the system being identified.

The system identification workflow can include following tasks and steps [6, 10]:

1. Prepare data for the system identification
    a. Importing data into MATLAB® workspace.
    b. Importing data into System Identification Tool GUI, or creating data objects in the MATLAB® Command Window.
    c. Plotting data to analyze them both in time and frequency domain. Deriving presence of the constant offsets, trends, delays, feedback, signal excitation level.
    d. Preprocessing data by removing offsets and linear trends, interpolating missing values, filtering to emphasize behavior in the specific frequency range.
2. Identify the linear, or the non-linear dynamical models
    a. Frequency response models.

b. Impulse response models.
c. Low-order transfer functions (process/plant models) – SISO models.
d. Input/output polynomial models.
e. State space models of the MIMO systems.
f. Non-linear *Black–Box* models.
g. *Grey–Box* models (ordinary differential, or difference equations).

The dynamical system model identification is explained on Figure 1.

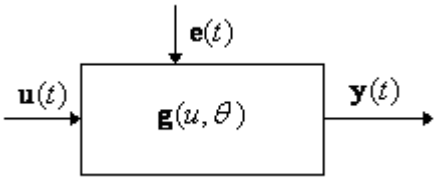


Figure 1. A scheme for model identification.

In Figure 1: $\mathbf{u}(t)$ - input vector; $\mathbf{y}(t)$ - output vector; $\mathbf{e}(t)$ - noise vector; $\mathbf{g}(u,\theta)$ - model of the dynamical system (linear or nonlinear one); θ - system parameter.

System Identification Toolbox provides following SISO linear models for further application [6]:

1. $Y(s) = \dfrac{K}{(1+sT_{p1})}$ – proportional (P) first order (O1) term;
2. $Y(s) = \dfrac{K}{s(1+sT_{p1})}$ – proportional (P) first order (O1), and integral term;
3. $Y(s) = \dfrac{K(1+sT_z)}{(1+sT_{p1})}$ – proportional (P) first order (O1) term with one zero;
4. $Y(s) = \dfrac{K(1+sT_z)}{s(1+sT_{p1})}$ – proportional (P) first order (O1) term with one zero and an integral;
5. $Y(s) = \dfrac{K(1+sT_z)e^{-sT_d}}{(1+sT_{p1})}$ – proportional (P) first order (O1) term with one zero and time delay;
6. $Y(s) = \dfrac{K(1+sT_z)e^{-sT_d}}{(1+2\xi T_w s+(T_w s)^2}$ – proportional (P) second order (O2) term having two poles with one zero and time delay;
7. $Y(s) = \dfrac{K(1+sT_z)e^{-sT_d}}{s(1+2\xi T_w s+(T_w s)^2}$ – proportional (P) second order (O2) term having two poles with one zero and time delay, and integral term;

8. $Y(s) = \frac{K(1+sT_z)e^{-sT_d}}{(1+2\xi T_w s+(T_w s)^2)(1+sT_{p3})}$ – proportional (P) second order (O2) term having three poles with one zero and time delay;

9. $Y(s) = \frac{K(1+sT_z)e^{-sT_d}}{s(1+2\xi T_w s+(T_w s)^2)(1+sT_{p3})}$ – proportional (P) second order (O2) term having three poles with one zero and time delay, and integral term.

The above listed models can be applied for models of the single input – single output (SISO) dynamical systems identification.

3. Validate models
    a. If one cannot achieve the appropriate and satisfactory model the different models can be used for identification purposes, or one must apply another identification algorithm. In some particular cases one can improve results by including a noise model, i.e. air turbulence models.
    b. Before system identification there might be a need of preprocessing data, i.e. a filtering can remove high-frequency noises, or maybe a resampling of the data can lead to a good result of the identification.
4. Simulate, or predict behavior of the dynamical system.
5. Additional step: design of the controller for the estimated plant using other MATLAB® toolboxes, or products (i.e. Control System Toolbox, Model Predictive Control Toolbox, Robust Control Toolbox, SIMULINK®).

IV. UAV FLIGHT PHASES AND REGIMES

If there is an ultimate decision about UAV type to be used for given purposes the question of automation of the flight phases arises, and must be answered. For further analysis and synthesis purposes the dynamical model of the aircraft is needed to be known. If the model aircraft is the COTS model aircraft its dynamical behavior and dynamical model is rarely derived.

Automation of the flight phases requires knowledge of the dynamical models of the spatial motion of the aircraft. The next question is: how to derive the aircraft spatial motion mathematical models?!

Firstly, let us derive preliminary the normal flight phases to be automatized [10]:

1. Take-off
2. Cruise
    a. Angular Control
    b. Direction Control
    c. Height Control
    d. Speed Control

e. Terrain following

3. Landing
    a. Descend
    b. Approach
        i. Glide path Control
        ii. Direction Control
    c. Flare
        i. Height Control
        ii. Speed Control

The flight phases given above are derived by the author definitely, and it is not the only unique set and is not the exclusive point of view. In other UAV applications there night be need of automation other flight phases discussed above.

For identification it is necessary to have main idea about identification process. If it is based on *data-driven modeling* one must have input signals, output signals, and noises of the process. The Cots–UAV can have, for instance, following input data of $u_i(t)$

1. angular deflection of the elevator;
2. angular deflection of the ailerons;
3. angular deflection of the rudders,
4. change in thrust;

and, can have following output data of $y_i(t)$

1. flight parameters of the longitudinal motion;
2. flight parameters of the lateral motion (if they can be separated from each other);

and, finally, can have disturbances, or noises of $e(t)$

1. external disturbance (i.e. atmospheric disturbance, other anomalies);
2. internal disturbances (i.e. sensor noises, other anomalies).

It is easy to see that COTS UAV can be described with mathematical models derived after identification of the dynamical systems' mathematical model. These models are necessary and sufficient ones for the on-board preliminary design of the automatic flight control system. As it was said before for this it is necessary to have time series of the input, and output signals, i.e. for the identification one must have on-board registered data of these signals. The registered data series can be stored onto on-board computer's memory, or can be broadcasted in real-time to the ground station unit for saving into special database. These time series must be converted into special MATLAB®

code available for importing into MATLAB® workspace for further analysis, and use for identification of the UAV spatial motion models.

V. SUMMARY AND CLOSING REMARKS

UAVs are useful tools to be applied for reconnaissance purposes in many civilian or military applications. They can be used very effectively in military missions having no pilots on the board. War theatre applications show that they are useful element of the very complex and modern digital battlefield. A new field of application is the war theatre D3 (Dull-Dirty-Dangerous) applications making possible keep human resources far behind the dangerous theatres.

Paper deals with basics of system identification procedure, namely, UAVs are involved into analysis. Steps for the identification process are detailed in the paper, and, further steps are nominated, i.e. for the given type pf the Cots–UAV a special flight plan must be created to have data series for identification of all possible discrete flight situations and conditions. A set of possible transfer functions of the model of the dynamical system is derived.

In the pre-conceptual and in the conceptual design phase of the automatic flight control system user must derive requirements for the Cots–UAV flights. This will drive steps both in identification and in controller synthesis tasks to be solved to have an UAV with autopilots.

VI. REFERENCES

[1] Dr. habil. Róbert Szabolcsi *Review of the UAV Systems' Civilian Applications,* Electronic Bulletins IV, Debrecen, Hungary, pp (59–65), 2007.

[2] http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/musz_fuz_04.pdf. (in Hungarian)

[3] Dr. habil. Róbert Szabolcsi *Derivation of the UAV Systems' Technical Requirements – The "Alpha"-Team,* Electronic Bulletins V, Debrecen, Hungary, p(23–33), 2008.

[4] http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/musz_fuz_05.pdf. (in Hungarian)

[5] Dr. habil. Róbert Szabolcsi *Some thoughts on Scientific review – Military and Civil Applications of the UAV Systems,* Bulletins of Szolnok XII., HU ISSN 2060-3002, 2008. (in Hungarian)

[6] http://www.szolnok.mtesz.hu/sztk/kulonszamok/2008/cikkek/szabolcsi-robert.pdf

[7] Dr. habil. Róbert Szabolcsi *Conceptual Design of Unmanned Aerial Vehicle Systems for Non-Military Applications*, Proceedings of the 11th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies VSDIA 2008, Budapest University of Technology and Economics, 10-12 November 2008, Budapest, Hungary (in print).

[8] Dr. habil. Róbert Szabolcsi *Some Thoughts on the Conceptual Design of the Unmanned Aerial Systems Used for Military Applications*, Proceedings of the XVIth Hungarian Days of Aeronautical Sciences, Budapest University of Technology and Economics, 13-14, Budapest, Hungary, (in print).

[9] Lennart LJUNG *System Identification Toolbox™ 7*, Getting Started Guide, The MathWorks™, Inc., 2008.

[10] MATLAB® 7 *Getting Started Guide*, The MathWorks™, Inc., 2009.

[11] SIMULINK® 7 *Getting Started Guide*, The MathWorks™, Inc., 2009.

[12] Róbert SZABOLCSI *Stochastic Noises Affecting Dynamic Performances of the Automatic Flight Control Systems,* Review of the Air Force Academy, No1/2009, pp(23-30), ISSN 1842-9238, Brasov, Romania (Selected paper from the CD-ROM Proceedings of the International Conference „Scientific Research and Education in the Air Force" AFASES 2009, ISBN 978-973-8415-67-6, pp(1182-1192), 20-22 May 2009, Brasov, Romania).

[13] Róbert SZABOLCSI *Identification of the UAV Mathematical Models*, CD-ROM Proceedings of the VIth International Conference „New Challenges in the Field of Military Sciences, ISBN 978-963-87706-4-6, 18-19 November 2009, Budapest, Hungary.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Szaniszló Zsolt rep. százados

A SZOVJET/OROSZ EMBER VEZETTE ŰRJÁRMŰVEK EJTŐERNYŐ-RENDSZEREINEK FEJLŐDÉSE

BEVEZETÉS

Az űrkorszak kezdetén sok űrprogram sikerének záloga a kozmoszba indított űreszközök egyes részeinek a Földre történő biztonságos visszajuttatása volt, amely legalább akkora fontossággal bírt, mint a számított paramétereknek megfelelő, sikeres pályára bocsátás. Ezt a problémát oldotta meg az ejtőernyő, így a XX. század űrtechnikai fejlődése szorosan összekötődött az ejtőernyő-technika korszerűsödésével. Az emberes űrprogramok beindulásával az ejtőernyő-rendszerek megbízhatósága a kozmikus technika kapcsán különösképpen felértékelődött.

A fejlődés útja sajnos sokszor törvényszerűen áldozatokkal jár. 1967. április 24-én az új, harmadik generációs Szojuz űrhajó első repülése során egy nagyon bátor ember, Vlagyimir M. Komarov mérnök ezredes, a Szovjetunió Hőse, a Szovjetunió űrhajós pilótája életét vesztette a visszatérési fázisban az ejtőernyő-rendszer nem megfelelő működése következtében. Erről az eseményről gyerekkoromban hallottam először a szüleimtől, de pontos részletekkel természetesen ők nem tudtak szolgálni.

1997. októberében, már katonai főiskolai hallgatóként lehetőségem volt részt venni a Magyar Asztronautikai Társaság (MANT) „Űrnap” rendezvényén, a Budapesti Műszaki Egyetem épületében. *„A hosszú távú űrrepülések pszichológiai hatásai”* című előadás során megemlítésre került a Szojuz-1 űrhajó katasztrófája, amely egy tudományos diákköri dolgozat *„A Szojuz űrhajó leszállóegységének ejtőernyőrendszere”* megszületésének adott kezdő lendületet. A konzulenseim mellett külön köszönettel tartozom néhai Dr. Bognár László orvos ezredesnek, aki a fent említett előadás társszerzőjeként a kutatómunkán kívül is segítségemre volt, amely döntő hatással bírt további sorsom és repülős pályafutásom alakulására. Fontosnak tartom megemlíteni, hogy hazánkban ő rendelkezett először űrorvosi szakvizsgával, amelynek jelentőségét az első magyar űrhajósjelöltek kiválasztási folyamatában végzett elévülhetetlen szerepe tud jellemezni.

A Magyar Honvédség repülőtisztjeként, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem levelező hallgatójaként, valamint ejtőernyős sportolóként nemcsak az Interkozmosz-programban végrehajtott szovjet-magyar közös űrrepülés 30. évfordulójának, hanem az ő emlékének tiszteletére is szeretném ezt a munkát ajánlani.

AZ EJTŐERNYŐZÉS ÉS AZ ŰRREPÜLÉS KAPCSOLATA

Az ejtőernyőt az emberi repülés kezdeteitől, a XVIII. századtól mint különleges mutatványos eszközt alkalmazták. A légijármű-technika fejlődésével jelentősége megnőtt és az utóbbi száz évben az élet sok területén elterjedt. Felhasználják tudományos, katonai és gazdasági célokra, a magaslégkör kutatására szolgáló ejtőernyőktől kezdve a nehezen megközelíthető helyekre kijuttatott tűzoltók által használt ejtőernyőkig. Az, hogy „a habselyem őrangyal" a világűrből történő biztonságos visszatérést lehetővé tevő speciális leszállóberendezések területén is fontos, ha nem elsődleges szerepet kapott, a Lenin Renddel és Állami Díjjal kitüntetett ejtőernyőrendszerek főtervezőjétől származó idézet képes megmutatni:

„Az ejtőernyő, mint fékező berendezés arról nevezetes, hogy nem igényel energetikai tartalékot. Az ejtőernyő ilyen tulajdonsága különösen értékes az űrkutatásnál."

(N. A. Lobanov) [17]

Az ejtőernyő alkalmazhatóságát a kozmikus eszközök visszatérésére a következő tényezők biztosították:

1. a Föld légkörének sűrűsége alkalmas az ejtőernyős leszállás végrehajtására;
2. az ejtőernyő-technika olyan fejlettségi szinttel rendelkezik (nagy megbízhatóságú rendszerek, kisméretű ejtőernyőcsomagok, stb.) – elsősorban az ejtőernyős sport- és deszanttechnika gyorsütemű fejlődésének köszönhetően –, amely megfelel az űreszközökre történő adaptálhatóság feltételének;
3. az ejtőernyők gazdaságos alkalmazási lehetősége az űrtechnikában.

Az űrhajózás területén az ejtőernyőket a következő feladatokra alkalmazzák [13, 14]:

1. Légkörrel rendelkező Föld- vagy bolygófelszínre történő biztonságos leszállás végrehajtására, beleértve:
   a.) földi orbitális jármű visszatérésére,
   b.) ember vezette űrjármű Földön történő leszállítására,
   c.) bolygófelszínre történő űrjármű leereszkedésére,
   d.) Földön kívülről visszatérő űrjármű leszállítására,
   e.) indító fokozat/rakéta visszatérésére;
2. Mentőrendszernél vészhelyzetben (indításkor, felbocsátás után az orbitális pálya elérése előtt, orbitális pályán keringve) történő alkalmazásra, beleértve:
   f.) ember vezette űrjármű kisegítő/vészhelyzeti mentőberendezésének visszatérésére,
   g.) űrállomás vészhelyzeti mentő/szállítóeszköz visszatérésére;
3. Űrjármű repülőgép-típusú leszállásánál fékezőrendszerként történő felhasználására

A tanulmány feladatául az 1/b., illetve 2/f.,g. és 3. alkalmazási csoportba besorolható szovjet/orosz emberes űrjárművek ejtőernyő-rendszereinek bemutatást tűztem ki célul, mivel az Interkozmosz-program szovjet-magyar űrrepülésében részt vevő Farkas Bertalan repülő százados, majd egy újabb politikai és gazdasági helyzetben ún. „űrturistaként" két alkalommal is, Simonyi Károly ennek az eszköznek köszönhette biztonságos visszatérését a Földre. Itt tartom szükségesnek kihangsúlyozni, hogy hatalmas technológiai különbség van egy műhold és egy személyszállító űrhajó visszatérése között. Amennyiben az űreszközben emberek is utaznak, a „viszonylag megbízható" minősítés már nem elegendő. A következő, 100%-osan megbízható fokozat elérése jelentős technológiai és pénzügyi ugrást jelent.

Hogyan is történt ennek megvalósítása a volt Szovjetunióban? Az ejtőernyőrendszerek tervezésének gyakorlatát tekintve fontosnak tartom kiemelni a két későbbi űrnagyhatalom közötti különbségeket. Amíg az Amerikai Egyesült Államokban a különféle technikai problémák megvalósítására versenypályázatokat írtak ki, a tervgazdálkodást folytató Szovjetunióban az űreszközök leszállító berendezéseivel kapcsolatos munkákkal elsősorban a moszkvai Automatikus Berendezések Intézete[1] foglalkozott, különböző intézményekkel tervszerűen együttműködve.

Az Automatikus Berendezések Intézetének ejtőernyőtervezéssel kapcsolatos feladatait évek múltával az Ejtőernyő Kísérleti Kutató Intézet[2] vette át, beleértve nemcsak a különböző modifikációjú Szojuz leszállóegységeknél, hanem a Burán űrrepülőgépnél és a világűr békés meghódításának egyéb területein alkalmazott ejtőernyőket is. A tervezőkollektívák több munkatársa ejtőernyős oktatóként- és beugróként számos alkalommal az új ejtőernyőrendszerek kipróbálója is volt egyszemélyben, az 1960-as években a híres ejtőernyős rekorder, Romanyuk ezredes parancsnoksága alatt.

AZ ELSŐ, MÁSODIK ÉS HARMADIK GENERÁCIÓS SZOVJET ŰRHAJÓK EJTŐERNYŐ-RENDSZEREI

A Vosztok[3] űrhajó ejtőernyői

A Vosztok leszállórendszerének ejtőernyői

Szergej P. Koroljov, a korai szovjet űrprogramok főkonstruktőre az első generációs űrhajók visszatérő módjaként a vízfelületre történő leszállást határozta meg. Az állami vezetés viszont - elsősorban a Szovjetunió földrajzi adottságaiból kiindulva -, a szárazföldre történő leszállás mellett döntött [21]. Ez a visszatérési mód a későbbi szovjet űrprogramokat tekintve – néhány alkalom kivételével - állandósult.

[1] Институт Автоматических Устройств (or.)

[2] NII AU, vagyis - Научно Исследовательный Институт Автоматичских Устройств (or.) néven működött, jelenleg Ejtőernyő-készítési NII

[3] Восток (or. „Kelet")

A program sikerét jelentette 1961. április 12-én Jurij Gagarin repülő főhadnagy űrrepülése és sikeres visszatérése, aki a földkörüli pályáról visszatért első emberré vált.

A világ első űrhajósának visszatérését a Vosztok űrhajó kombinált leszállórendszere segítette elő, amely állt magának az űrhajónak az ejtőernyőjéből, a kozmonauta katapultüléséhez tartozó ejtőernyő rendszerből és a kozmonauta fő- és tartalék személyi ejtőernyőjéből.

A Vosztok-1 útját egy sorozat szuborbitális, nagy magasságú, biológiai célú repülés előzte meg, melyek során kutyákat is küldtek fel 100 km körüli magasságokba. Ezeket a becsapódási, tűrési teszteket annak a minimális kabinejtőernyő méreteinek meghatározása céljából is felhasználták, amely megakadályozhatta a kozmonauta nem katapultálása esetében bekövetkezhető földetérési sérüléseket [14].

A Szputnyik[4] űrhajók - amelyek kialakításukat tekintve a Vosztoknak feleltek meg-, az állatokkal végrehajtott kísérleteken kívül ún. bábús űrrepüléseket is végrehajtottak.

A Szputnyik-4, a Vosztok kabin egy korábbi verziója 1960. május 15-én lépett földkörüli pályára, egy űrhajóst utánzó próbabábúval a fedélzetén, amely „nem élte túl" a légkörbe visszatérést. A Szputnyik-6 ugyancsak így járt. A Szputnyik-5 - amely már a későbbi Vosztok űrhajó modellje volt -, sikeresen tért vissza a légkörbe és ereszkedett le ejtőernyővel a Földre 1960. augusztus 20-án, ami 24 órán belül egybeesett az első amerikai levegőben elkapott űrkabin visszatéréssel (Discoverer-14). A Szputnyik-9 és -10, melyek kutyás gyakorló repüléseket végeztek az első emberi személyzettel ellátott küldetés számára, ugyancsak sikeresen visszatértek. Ezután kerülhetett csak sor a Vosztok-1 űrrepülésére.

Érdekességként meg kell említeni, hogy Gagarin űrrepülését akkora érdeklődés és lelkesedés kísérte világszerte, hogy a Nemzetközi Repülő Szövetség (FAI)[5], mint a légisportok nemzetközi szervezete, Gagarin repülését világraszóló teljesítményként, első, asztronautikai világrekordként minősítette. Később az FAI elkészítette a most már realitássá vált űrrepülési sportkódexet, amely már előírta, hogy a pilóta járművében szálljon fel és le. Részleteiben tizenhárom évvel később tették közzé Gagarin önálló, katapultálását és leszállását. [11].

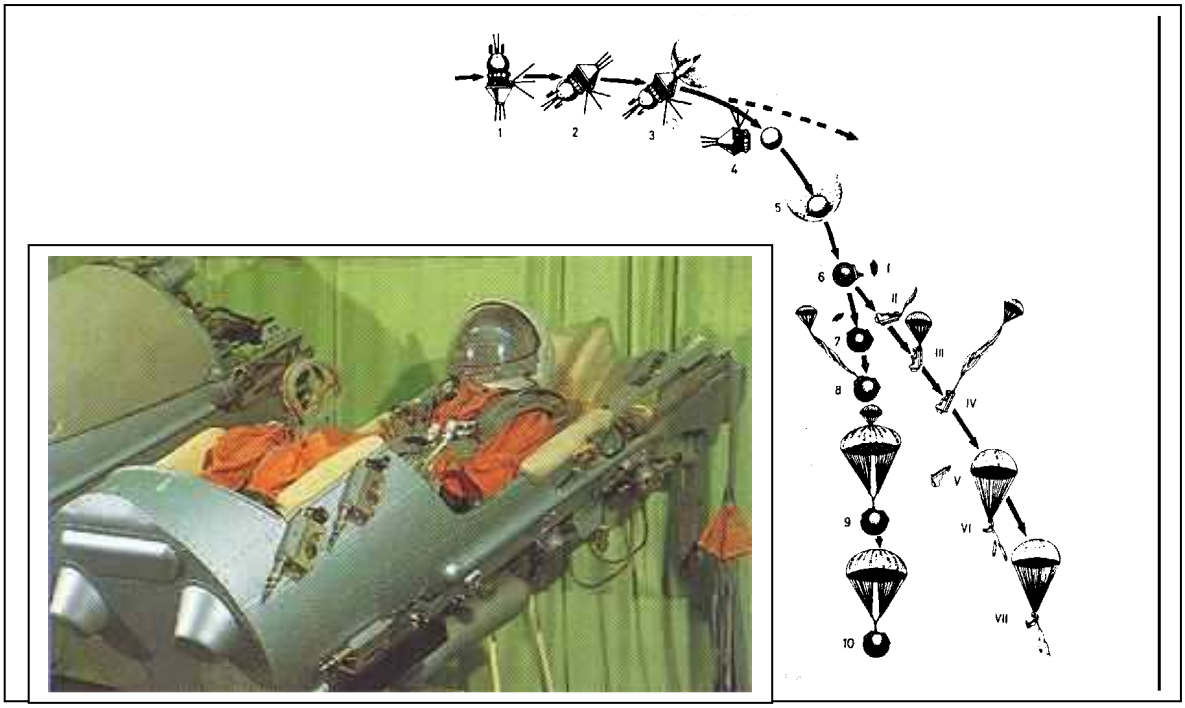
Amíg a többszemélyes, fékezőrakétás földetérési berendezéssel felszerelt Voszhod és Szojuz járműveket ki nem fejlesztették, a kozmonauták dönthettek róla, hogy a célszerűbb földetérési körülmények érdekében 6,5 km-es magasságban, 220 m/s sebességnél katapultálnak az ülésbe beépített ejtőernyőikre bízva magukat, vagy a katapultülés működését blokkolva az űrkabinban maradnak és annak ejtőernyőjével érnek Földet. A Vosztok űrhajók utasai mind az előbbi megoldást választották.

Ebben az esetben a katapultülést lefékező 2 m^2 felületű ejtőernyő biztosította a kozmonauta 83,5 m^2 felületű – a katapultülés felső részén található konténerbe helyezett – főejtőernyőjének biztonságos

[4] Спутник (or. „Útitárs")

[5] Fédération Aéronautique Internationale (fr.)

nyitásához szükséges sebességcsökkentés értékét. Ennek működésképtelenné válása esetén egy kisebb, 56 m^2 felületű, - a katapultülés háttámlája mögé rejtett - tartalék személyi ejtőernyő szállította volna le a kozmonautát a Földre. A 2,4 t tömegű űrkabin ejtőernyőrendszerét működésbe hozó vezérlőjelet barometrikus érzékelő adta a kozmonauta katapultálása után, melynek hatására egy 1,5 m^2 felületű ejtőernyőt tartalmazó kihúzó blokk vágódott ki a légáramlatba, maga után húzva az 5 km-es magasságban nyíló 18 m^2-es fékező ejtőernyőt, amely a kabin 2,5 km-es magasságban belobbanó 574 m^2 felületű ejtőernyőjét hozta működésbe [16, 19]. Ezt a folyamatot szemlélteti az 1. ábra:



1. ábra. A Vosztok űrhajó leszállóegységének és a katapultált kozmonauta visszatérésének fázisai

I. leválik a katapultülés fedele, 7. leválik az ejtőernyőház fedele, II. az űrhajós a katapultülésben elhagyja a kabint, 8. a kabin stabilizáló ejtőernyője kinyílik, III. a katapultülés stabilizáló ejtőernyője kinyílik, 9. a kabin fő fékező ejtőernyője kinyílik, IV. a kozmonauta ejtőernyője kinyílik, 10. az űrkabin talajt ér, V. a kozmonauta leoldja az ülést, VI-VII. a kozmonauta a saját ejtőernyőjével és mentőcsomagjával földet ér

A korai kozmonauták alapos ejtőernyős képzésben részesültek, amely kb. 40 ejtőernyős ugrást jelentett. A kozmosz későbbi meghódítói, akik gyakorló jelleggel még a Vosztok űrhajóban viselt szkafanderbe beöltözve is hajtottak végre ejtőernyős ugrásokat, kiképzésük befejeztével ejtőernyős oktatói jelvény viselésére is jogosultságot szereztek [4]. Valentyina Tyereskova, a világ első űrhajósnője ejtőernyős sportolóként kezdte pályafutását. Nyilvánvalóan az ejtőernyős kiképzés volt az, amely a személyi ejtőernyő alkalmazására ösztönözte a korai szovjet űrhajósokat. Ezzel szemben nagyon érdekes az a tény, hogy az amerikai űrhajósoknak mind a mai napig tilos szándékos ejtőernyős ugrásokat végrehajtaniuk [14, 18].

A Vosztok vészhelyzeti mentőrendszerének ejtőernyői

A Vosztok űrhajókon alkalmazott katapultülés és a kozmonauta személyi fő- és tartalék ejtőernyői (2. és 3. ábra) elsősorban az űrkabintól független leszállást biztosították, de mentő-eszközként is funkcionálhattak volna a starthelyzetben, vagy az orbitális pályára álláskor bekövetkező vészhelyzetek esetén, illetve ha az űrkabin ejtőernyője működésképtelenné vált volna a soha be nem következett együttesen végrehajtott leszállás során.

2. és 3. ábra. A kozmonauta személyi ejtőernyői elől-és hátulnézetben

(A képeken jól megfigyelhető a szovjet rendszerű pilóta mentő ejtőernyőkön elterjedt központi zár és a PPKU ejtőernyő nyitó félautomata)

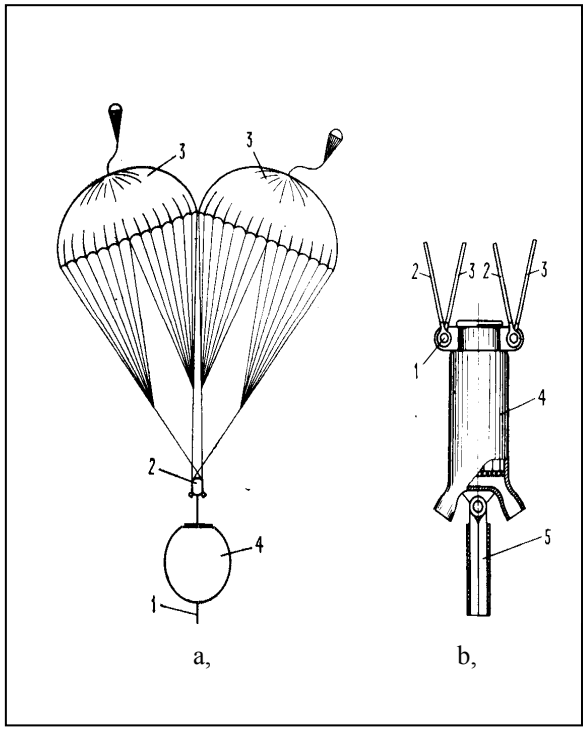
Mivel a szkafander bizonyos mértékben korlátozta a kozmonauta mozgását, ezért – a PPK-U nyitóautomatána alapuló, katapultrendszereknél már bevált biztosítókészüléket alkalmaztak, amely a kézi kioldófogantyú meghúzásakor automatikus és kézi üzemmódban egyaránt biztosította a személyi ejtőernyőrendszer biztonságos nyílási folyamatát [9].

A Voszhod[6] űrhajó ejtőernyői

A Voszhod leszállórendszerének ejtőernyői

A két- vagy háromszemélyes kabinját úgy tervezték, hogy alkalmas legyen akár szárazföldre, akár vízfelületre történő leszállásra, bár ennek az utóbbinak a lehetőségét sohasem próbálták ki működőképesen a Voszhod két repülése során. A Vosztokénál nem nagyobb méretű kabinkialakításból eredően a kozmonauták nem használhattak katapultüléseket sem vészhelyzet esetén, sem egyéni földetérésre, így az űrkabint a világon először kombinált ejtőernyős-fékezőrakétás leszállórendszerrel szerelték fel (4. ábra).

[6] Восход (or. „Napfelkelte”)



4. ábra. A Voszhod űrhajó ejtőernyős-fékezőrakétás leszállórendszere

a, 1. mechanikus magasságmérő, 2. fékezőrakéta, 3. ejtőernyőrendszer, 4. leszállóegység

b, 1. kötélszem felerősítési csomópontjai, 2,3. felszakadó hevederek, 4. fékezórakéta, 5. mechanikus magasságmérő

A Voszhod ejtőernyőrendszere ugyanazt 1,5 m^2 felületű kihúzó ejtőernyőt és a 18 m^2 felületű fékező ejtőernyőt használta a főejtőernyő működtetésére, mint amelyeket a Vosztokon alkalmaztak. A Vosztok egyetlen 574 m^2 felületű főejtőernyőjével ellentétben a Voszhod két főejtőernyő kupolával rendelkezett, amelyek összegzett kupolafelülete megegyezett az első generációs szovjet űrhajó főejtőernyőjével [16].

A kétkupolás ejtőernyőrendszer 4800 m magasságban és 219 m/s-es sebességnél lépett működésbe [6]. Az ejtőernyő kupolája a szükségesebb súlymegtakarítás érdekében nagy tartósságú, alacsonyabb légáteresztőképességű poliamid szövetből készült. Ez magasabb ellenállási együtthatót eredményezett, ami nagyobb nyílási erőkben jelentkezett, ez viszont az ejtőernyő rögzítési pontjainak szerkezeti megerősítését tette szükségessé [21].

A többkupolás ejtőernyőrendszerek alkalmazásánál a leggyakrabban az a működésbeli rendellenesség fordulhat elő, hogy nem mindegyik kupola töltődik fel levegővel, illetve az, hogy a leszállóegység nem a számított paramétereknek megfelelő visszatérése, esetleg forgása miatt a párhuzamosan működésbe hozott ejtőernyők összegabalyodhatnak. A Voszhod egyik főejtőernyő kupolájának működésképtelenné válása esetén a működésbe lépő fékezőrakéták és az ülések lökéscsillapítói tették volna lehetővé a kozmonauták számára a földetéréskor jelentkező terhelés elviselését.

Érdekes módon a Voszhod űrhajó nem rendelkezett mentőrakétával, így a kabin ejtőernyőjét csak a repülési programnak megfelelő leszállásra lehetett felhasználni. A párhuzamosan működő ejtőernyőrendszer pedig magába foglalta a fő- és a tartalék ejtőernyő funkcióit is. A program befejeztével szovjet emberes űreszköz ejtőernyőrendszerénél többet nem alkalmazták a párhuzamos redundancia ilyen példáját.

A Voszhod-ejtőernyőrendszer mind a két küldetés során kitűnőre vizsgázott, amely elsősorban a Voszhod-2 nem a számított programnak megfelelő, kézi vezérléssel végrehajtott leszállását tekintve volt figyelemreméltó.

A Voszhod vészhelyzeti mentőrendszerének ejtőernyői

A Voszhod 1964. évi repülése előtt, 1962. nov. 1.-jén - tehát a Vosztok alkalmazása közben, véleményem szerint inkább fejlesztési céllal Pjotr I. Dolgov ezredes és Jevgenyij N. Andrejev őrnagy ejtőernyő tervezők- és beugrók azonnali nyitású és késleltetett ejtőernyős ugrást hajtottak végre 25000 méter magasságból egyazon ballon gondolájából. Dolgov - aki azonnali nyitással működtette az ejtőernyőjét a feladatnak megfelelően, a ruha dehermeteizációja miatt életét vesztette. Andrejev az FAI hivatalos rekordtáblázata szerint 24500 méteres szabadesés után nyitotta az ejtőernyőjét. A korabeli publikációk alapján a ballongondolát katapultálással hagyták el - ebből feltételezhető, hogy a Voszhod mentőrendszerének előkísérletét végezték el [1], amelyet a gyakorlatban soha nem alkalmaztak egyik repülés során sem.

A Szojuz[7] űrhajó ejtőernyői

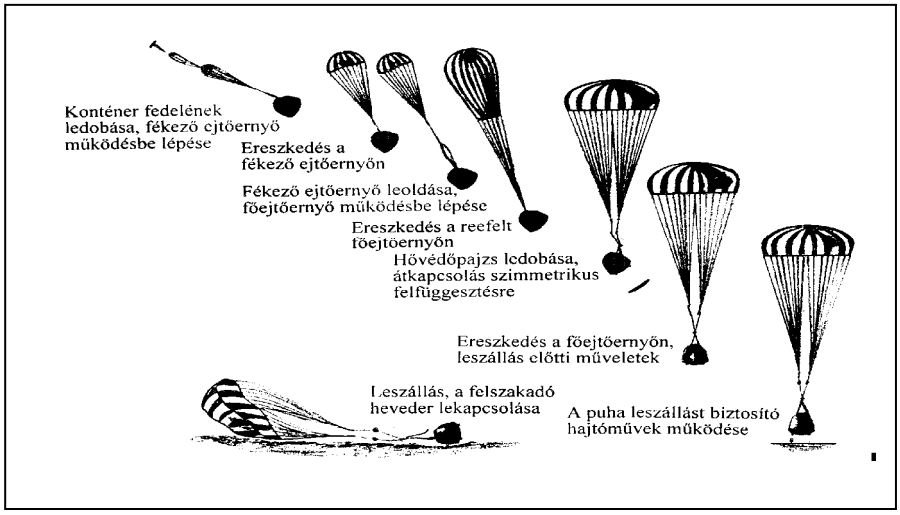
A Szojuz leszállórendszerének ejtőernyői

A szovjet űrhajók közül a harmadik generációs Szojuz űrhajó leszállóegysége volt az, amely az ún. „kónuszos” kialakításából adódóan - az amerikai ember vezette űrhajókhoz hasonlóan - rendelkezett a földi légkörbe történő belépésnél a leszállási röppálya megváltoztatásának képességével. Ezt a célt biztosítandó a Szojuz űrhajóra kis stabilizáló hajtóműegységeket építettek be, míg a Vosztok és Voszhod űrhajó esetén ugyanezt ballasztolással oldották meg.

Az új generációs űrhajó természetesen új ejtőernyőrendszert igényelt, amelyet a konstruktőrök a korábbi tapasztalatoknak megfelelően, szintén teljes egészében automatikus üzemmódban kívántak működtetni, amely magába foglalta az ejtőernyő automatikus leoldását is talajhoz ütődés pillanatában. A rendszer működési elve az elmúlt több mint 40 év alatt lényegében változatlan maradt (5. ábra). A Szojuz ejtőernyőrendszerét egy barometrikus érzékelő hozza működésbe 9,5 km magasságban. A konténer tetejének ledobódását az abból kiszabaduló 9,7 és 1,5 m^2 felületű ejtőernyőkből álló kihúzó blokk működésbe lépése követi, amelyek a 14 m^2 felületű fékező ejtőernyőt húzzák ki az ejtőernyő-

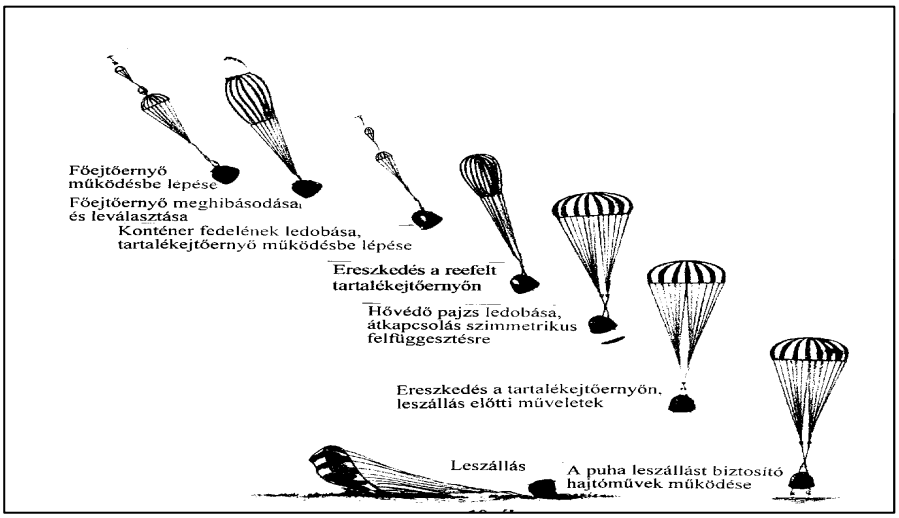
[7] Союз (or. „Szövetség”)

konténerből. Ez az ejtőernyő egy szem segítségével kapcsolódik a leszállóegységhez, majd miután annak sebessége 90 m/s-ra lecsökken, leválik a leszállóegységről és kihúzza a konténerből a belsőzsákba rejtett főejtőernyő 1000 m^2 felületű, kapronból készített kupoláját. A reefelés következtében ez nem azonnal lobban be, így a részleges kupolafeltöltődés miatt a leszállóegység sebessége az első fázisban, 4 s alatt 35 m/s-ra, majd a nyíláskésleltetés feloldása után két lépésben tovább csökken: először 13-17 m/s-ra, majd 6-7 m/s-ra [16]. A Szojuz leszállóegység ezzel a sebességgel ereszkedik tovább, de a kb. 1-1,5 m magasságban [10] működésbe hozott szilárd hajtóanyagú [27] fékezőrakétáknak köszönhetően ez az érték 3,5-4 m/s-ra csökken.



5. ábra. A Szojuz űrhajó főejtőernyő rendszerének működési fázisai

A Szojuz leszállóegységet egy 573 m^2-es kupolafelületű tartalék ejtőernyővel és a kozmonauták túlélőképességének növelése érdekében olyan automatikus rendszerrel látták el, amely lehetővé tette a rosszul kinyílt főejtőernyő leválasztását (6. ábra) és a tartalék ejtőernyő zavartalan működését.



6. ábra. A Szojuz űrhajó tartalék ejtőernyő rendszerének működési fázisai

Az új ejtőernyőrendszer gyakorlati próbái minden bizonnyal sikeresek lehettek, mert hamarosan egy valódi űrrepülésben való részvételére is sor került. A Szojuz-1 berepülése nem ment minden nehézség nélkül, mert nem nyílt ki az űrhajó egyik napelemszárnya, ezért nem állt rendelkezésre kellő mennyiségben energia a tervezett repülési program folytatására, így azt módosították [7, 15] és a kozmonauta kézi vezérléssel hajtotta végre a leszállást 1967. április 24-ének hajnalán. Ennek során veszítette életét a Szojuz-1 berepülésével megbízott tapasztalt kozmonauta, Vlagyimir M. Komarov mérnök ezredes, a Szovjetunió Hőse, a Voszhod-1 korábbi parancsnoka.

A hivatalos magyarázat szerint a katasztrófa oka a főejtőernyő felszakadó hevedereinek 7 km magasságban bekövetkező nyílás közben történő összeakadása volt [14]. Ezt a támasztja alá a lezuhanás helyszínén készített filmfelvétel is, amelyen jól látható az összegubancolódott, „hurkában maradt" ejtőernyő-kupola. Ez a leszállórendszer nem a számított paramétereknek megfelelően, esetleg járulékos forgással végrehajtott kézi vezérlésű leszállásának volt a következménye. Igaz, hogy van lehetőség az ún. „kipörgető eljárásokkal" a leszállóegység elvesztett stabilitásának a helyreállítására, de ezt csak a sztratoszférába lépés előtt lehet alkalmazni, és ezzel a módszerrel a rosszul kinyílt ejtőernyőt kirendezni lehetetlen.

A katasztrófa után közel másfél évet áldoztak az eredetileg Fjodor D. Tkacsev által tervezett ejtőernyőrendszer tökéletesítésére, amely időkiesés a két nagyhatalom űrversenyében komoly lemaradást jelentett.

Mivel az ejtőernyő-konténer fedelének lerobbantásakor a tartály deformálódhat, ennek következtében megnő az ejtőernyőrendszer beszorulásának esélye [20], ezért az eredetileg hengeres ejtőernyő-konténert „kónuszos" kialakításúra cserélték, illetve megoldották az ilyen esetre a kihúzó ejtőernyő leválasztását is, elősegítve a tartalék ejtőernyő zavartalan belobbanását. (Az 1968. október 28-án sikeresen visszatért, személyzet nélküli, automatikus üzemmódú Szojuz-2 állítólag még a régi konténerrel repült, de ezt hivatalosan soha nem erősítették meg.)

Ezeken kívül - a fokozottabb biztonság kedvéért - a földhöz ütközéskor automatikusan működésbe lépő leoldózárat kézi működtetésűre cserélték, így a teljesen automatikusan működő „ember-gép" ejtőernyőrendszerben a kozmonauta feladata a kupola belobbanásának jelentése mellett a leszállás után annak leválasztása lett. Ezzel elkerülhetővé válik a leszállóegység– talajon történő vonszolódása[8], illetve a Szojuz-18-1 személyzetét (Vaszilij G. Lazarev orvos ezredes és Oleg G. Makarov) is ez mentette meg, amikor az Altaj-hegységben egy meredek lejtőn fogtak talajt és az ejtőernyő kupolája a bozótosban megakadt [11].

A módosított ejtőernyőrendszer és annak tökéletesített változatai mind a mai napig 100%-os megbízhatósággal működnek, még a tartalék ejtőernyő használatára sem volt eddig szükség sem a Szojuz, sem a Szojuz-T, -TM és –TMA leszállóegységek visszatérésénél.

[8] Ejtőernyős zsargonban: „kutyázás" - utalva arra a jelenségre, hogy a vonszolódó ejtőernyős kutya galoppozására hasonló négykézláb mozgással igyekszik felállni, vagy megközelíteni a vonszoló kupolát.

A Szojuz-T[9] visszatérő tömegét 2,9 t-ra növelték, míg a Szojuz-TM[10] és –TMA hosszú idejű orbitális pályán tartózkodásra készült, így a zsinóroknál és erősítő szalagoknál megjelent a könnyű súlyú poliamid és kevlar[11] együttes alkalmazása [13].

A Szojuz vészhelyzeti mentőrendszerének ejtőernyői

A Szojuz űrhajókhoz a szovjet hordozórakéta-család „Kis hetes"[12] elnevezésű példányának továbbfejlesztett változatait alkalmazzák, amely a - start előtt illékonysága miatt mélyhűtött állapotban tartott -, hypergolikusnál is érzékenyebb hajtóanyagot használ. Az indítási folyamat közben könnyen bekövetkező rakétarobbanás tűzlabdájának kiterjedtsége és a Szojuz leszállóegységének kialakítása a mentőtornyos vészmentő berendezés alkalmazása mellett döntött.

Az indítóállásban vagy az orbitális pályára történő kivezetés szakaszán -120 km-es magasságig [19] - bekövetkező vészhelyzet esetén a mentőrakéta letépi az orrvédő kúpot az űrhajóval együtt és eltávolítja a hordozórakétától, majd leválik az orrvédő kúp, az orbitális- és a műszeres egység a leszállóegységről, amely a leszállóegység fő ejtőernyőrendszerének segítségével biztonságosan Földet ér. Az indítóállásban bekövetkező vészhelyzet esetén – ekkor van lehetőség a mentőberendezés kézi vezérlésű működtetésére is, míg az emelkedés szakaszán ezt teljes egészében az automatika végzi-, a kivezetési magasság illetve távolság értéke nem lehet kevesebb, mint 850 m, illetve 110 m [12]. A kivezetési pálya paraméterei a főejtőernyő biztonságos működéséhez ugyanúgy szükségesek, mint robbanás esetén a lángtengerből történő meneküléshez. Mentési üzemmódban a két kihúzó ejtőernyő által alkotott megnövelt felület kompenzálja az ejtőernyők belobbanásához szükséges sebesség kis értékét [10].

A Szojuz mentőrendszere két esetben bizonyította eddig létezésének jogosultságát. Először 1975. április 15-én, amikor az előzőekben megemlített Szojuz-18-1 rövid űrutazás kényszerleszállással végződött, mivel hordozórakétájának harmadik fokozata nem a számított paramétereknek megfelelően működött az orbitális pályára állás szakaszán [19]. Másodszor 1983. szeptember 26-án, a Szojuz T-10-1 űrhajó hordozórakétájának starthelyen bekövetkezett felrobbanásakor, „az egészséges, de nagyon boldogtalan" [3] Vlagyimir G. Tyitov ezredes és Gennagyij M. Sztrekalov megmentésével.

A SZOVJET ŰRREPÜLŐGÉP EJTŐERNYŐ-RENDSZEREI

A *Buran*[13] *ejtőernyője*

A szovjet Burán űrrepülőgép leszállás utáni lefékezésére alkalmazott ejtőernyőit csak az egyetlen sikeres próbaútjának végén lehetett megfigyelni a Bajkonur Kozmodrom leszállóbetonján, l988. november 15-én (7. és 8. ábra).

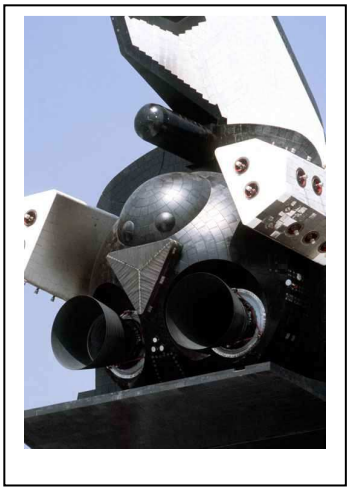
---

[9] Союз-Транспортный (or. „Szövetség Szállító")
[10] Союз-Транспортный Модификированный (or. „Szállító-Módosított")

[11] A kevlár típusú nagyszilárdságú műanyag ejtőernyőtechnikában elterjedt neve a szovjet gyártmányoknál (repülőgép fékernyő, PO-9 és PZ-81 típusú ejtőernyőknél) KOTMOSz volt.

[12] Семёрка (or. „Kis hetes")

[13] Буран (or. „Hóvihar")



7. és 8. ábra. A Burán fékező ejtőernyőinek hármas fürtje és a fékejtőernyő gondolája a függőleges vezérsík alatt

A Burán 310-340 km/h sebességgel érte el a betont, amelyen három darab kereszt alakú, összesen 75 m^2 felületű ejtőernyőrendszer biztosította az űrrepülőgép fékezését. Az ejtőernyőket 50 km/h sebességnél leválasztották, hogy elkerüljék az oldalra húzást. A Burán teljes lefékezéséhez 1100-2200 m-es kifutási úthosszra volt szükség [5].

A *Buran mentőrendszer ejtőernyője*

A Buran űrrepülőgépet személyzettel ellátott repüléséhez az első alkalommal a Jak-38 és MiG-25 típusú vadászgépeken alkalmazott, „dupla nullás” K-36 típusú katapultülés (9. ábra) módosított változatával (10. ábra) kívánták felszerelni. A mentőrendszert Gaj I. Szeverin, a Zvezda cég főmérnöke úgy tervezte, hogy felhasználható legyen a kilövőállványon bekövetkezett vészhelyzetekre - ebben az esetben a rakétahajtóművek 300 m magasságra lőtték fel a katapultülést-, az ülés használható egészen 30000 m-es magassághatárig, illetve 3,0 Mach értékig [2].

9. és 10. ábra. A K-36 típusú katapultülés és a Buran pilótafülkéjébe beépítésre tervezett módosított változata

A katapultülés különlegességét a stabilizációs rendszerének megoldása szolgáltatja. A hátul, két oldalt elhelyezett teleszkópkarok a katapultálás után azonnal kivágódnak a helyükről, és a több mint 2 m hosszú rudak végén elhelyezett kis segéd-ejtőernyők mindaddig stabilizálják az ülés és a kozmonauta zuhanását, amíg el nem érik az 5000 m-es magasságot. Ezután a katapultülés leválik a kozmonautáról, aki mentőejtőernyővel ér földet.

A katapultülés beépítésére soha nem került sor, mert az 1988-ban személyzet nélkül végrehajtott, egyetlen sikeres próbarepülés után a szovjet űrrepülőgép programot törölték.

ZÁRSZÓ

A világűr hatékony felfedezéséhez és hasznosítása érdekében elengedhetetlenül szükség van az ejtőernyők alkalmazására. Az ejtőernyős technika és az űreszközök közötti kölcsönös kapcsolat mindkét területen hihetetlen ütemű műszaki fejlődéshez vezetett.

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

Az űrhajózás területén eddig alkalmazásra kerülő ejtőernyőrendszerek kifejlesztése során nyert tapasztalatok minden bizonnyal a jövőbeni „űrből leeső” rendszerek tervezésénél is megkönnyítik a konstruktőrök munkáját, segíteni fogják a problémák megoldását és megteremtik az újabb sikeres leszállórendszerek létrehozását az ejtőernyős technológia felhasználásának e szokatlan területén, a kozmosz országútjain.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Je. N. Andrejev: Körülöttem az ég. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1985/4. 20-22. oldal
[2] Aviation Week and Space Technology 1988. december 5. 31. oldal
[3] M. Eiden: Aerodynamic Decelerators for Future European Space Missions ESA/ESTEC. AIAA. 89-0879.
[4] Ju. A. Gagarin: Utazás a világűrben. Táncsics Könyvkiadó Budapest, 1962
[5] Dr. Horváth András, Szentpéteri László: A Burán első útja. Az amerikai és a szovjet űrrepülő rendszerek összehasonlítása. Haditechnika 1989/1. 27-33. oldal
[6] Kenneth Gatland: Manned Spacecraft. Macmillan Publ. Co. New York, 1976
[7] Kenneth Gatland: Space Diary. Salamander Books Ltd. London, New York 1989
[8] L. A. Gilberg: Az ég meghódítása. Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1979
[9] Kastély Erika: Biztosítókészülékek EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1993/4. 22-66. oldal
[10] Н. А. Лобанов: Из космоса на парашюте. Авиация и Космонавтика 1978/9. 34-35. oldal
[11] J. E. Oberg: Red Star in Orbit: The Inside Story of Soviet Failures and Triumphs in Space. Random House New York, 1981
[12] Ракетно-космическая корпорация „Энергия” имени С. П. Королёва Россия, РКК Энергия 1994
[13] M. J. Ravnitzky: Az ejtőernyőanyag megújulása. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1993/3. 23-36. oldal (az eredeti változat: AIAA. 89-0909 CP)
[14] M. J. Ravnitzky, S. N. Patel, R. A. Lawrence: Zuhanás az űrből: Ejtőernyők és az űrprogram. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1997/3. (az eredeti változat: AIAA. 89-0926)
[15] Schuminszky Nándor: Szovjet Zond szondák a Hold körül. Haditechnika 1998/1. 38-42. oldal
[16] Szerzői kollektíva K. P. Feoktyisztov vezetésével: Космические аппараты. Военное Издательство Москва,1983
[17] Űrhajósok ejtőernyős ugrása. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1984/6. 31-32. oldal. (az eredeti változat: А. А. Войнов: Человек и парашют. Москва 1977)
[18] Űrhajósok: Nincs móka! EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1991/5-6. 54. oldal
[19] Űrhajózási lexikon. Akadémiai Kiadó, Zrínyi Katonai Kiadó Budapest, 1984
[20] Visszatérési manőver. Haditechnika 1979/3. 114-117. oldal (Авиация и Космонавтика cikkek alapján)
[21] L. Vladimirov: The Russian Space Bluff: the Inside Story of the Soviet Drive to the Moon. Dial Press, 1973, 81-82. oldal New York

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Turcsányi Olivér

A REPÜLÉSBIZTONSÁG IRÁNYÍTÁSI RENDSZEREK BEVEZETÉSÉVEL KAPCSOLATOS EGYES GYAKORLATI KÉRDÉSEK

1. ELŐZMÉNYEK ÉS BEVEZETÉS

A Nemzeti Közlekedési Hatóság Légügyi Igazgatósága 2010. elejétől megköveteli, hogy a légijármű üzemeltető és karbantartó szervezetek, valamint repülőterek és légiirányító szolgálatok repülésbiztonság irányítási rendszert (Safety Management System, SMS) működtessenek.

Ez a követelmény az ICAO Annex 6. Part I. chapter 3.2. és chapter 8.7.3, valamint a Part III. section II. chapter 1.2. pontjaira alapulnak.

Bár a követelményrendszer megadja az SMS alapvető, kötelező elemeit, a rendszer kialakításakor figyelembe kell venni az érintet szervezet tevékenységi körét, nagyságát és egyedi jellemzőit.

Ilyen egyedi jellemző lehet például, hogy a szóban forgó szervezet működtet-e már Flight Operations Quality Assurance (FOQA) programot és/vagy párját, a Maintenance Organization Quality Assurance programot. Ez előbbi csak légijármű üzemeltető szervezetekre jellemző program, míg az utóbbi a karbantartó szervezetekre. Természetesen, mindkét rendszerből kinyerhetőek olyan adatok, amelyek segíthetnek a másik szervezet egyes feladatainak biztonságosabb elvégzésében, de a program működtetését csak az érintett szervezet tudja biztosítani.

Jelen munka csak a légijármű üzemeltető és karbantartó szervezetek SMS-ére vonatkozó észrevételekkel foglalkozik. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy a tárgyalt egyes elemek vagy megállapítások nem terjedhetnek ki a repülőtér üzemeltető, földi kiszolgáló vagy légiirányító szervezetre is.

2. AZ SMS FŐBB OSZLOPAI

Az SMS egy olyan rendszer, mely különböző elemek rendszerbe foglalásával, ezek kölcsönös, egymással összefüggő, interaktív módon történő működtetésével üzemeltethető. De mit kell ezalatt a meghatározás alatt érteni és mik ezek a fő elemek?

Kezdjük talán a főbb elemekkel:

a) Tulajdonosi kötelezettségvállalás szükségességének elismertetése.
b) Felelős vezetői kötelezettségvállalás betartásának figyelése;
c) Minőségügyi rendszer által kimutatott eltérések és vezetői értékelés elemzéseinek eredménye;

d) Minőségügyi monitoring eredményeinek elemzése;
e) FOQA/MOQA által kimutatott eltérések elemzése;
f) Repülésbiztonsági események elemzéseinek eredménye;
g) Önkéntes repülésbiztonsági jelentési rendszerből származó információk elemzésének eredményei;
h) Repülésvédemli és munkabiztonsági események elemzéseinek eredménye;
i) Jelentős meghibásodások elemzése és jelentése;
j) Airworhiness Directive and Service Bulletin elemzéseinek eredménye;
k) Karbantartási Program elemzésének eredménye;
l) A gyártó által biztosított Maintenance Review Board és az üzemeltető által működtetett megbízhatósági program elemzéseinek eredménye;
m) Ismétlődő meghibásodások okainak elemzése.

A különböző elemek rendszerbe foglalt működtetése:

az a) – m) pontokban felsorolt elemeket nem egymástól elkülönítve, vagy párhuzamosan kell működtetni, illetve megvalósítani, hanem egymást kiegészítve, néhány esetben egy elem magába foglalhat több funkciót is, vagy modul szerűen kiegészíthetik egymást.

3. GYAKORLATI PÉLDÁK A MEGVALÓSÍTÁSRA

Ebben a részben a teljesség igénye nélkül megpróbálom felvillantani azokat a főbb gondolatokat, melyek segíthetnek értelmezni, kiépíteni és működtetni egy SMS.

Mihez hasonlítson az SMS? Vegyünk példákat az élet más területeiről!

a) Az alváz + felépítmény v.s. önhordó karosszéria elve (lásd a gépjárműipart):
az SMS „teherviselő funkciót” lát el, tehát olyan mint egy gépkocsi önhordó karosszériája. Nem csak ráépül az alvázra, tehát a szervezeti struktúrára és folyamatokra, hanem egyben teherhordó funkciót is ellát. Ez azt jelenti, hogy a biztonság irányítási folyamatok egyben maguk a normál működési folyamatok is.
b) Szivacs elv:
szivacs a „váz”, tehát a normál szervezeti felépítés és a folyamatok, majd ez, mint a szivacs, magába szívja a „folyadékot”, tehát „a biztonsági eljárásokat”.

Példa 1.

Ne féljünk a kiterjesztett értelmezéstől de az egyszerűsítéstől sem! Amit lehet vonjunk össze, egyszerűsítsünk! Ha valami egyszerű, az már önmagában kizár egy sor problémát. Egy bizonyos adatot csak egy helyen (tehát egy dokumentumban) szerepeltessünk, de ennek az egy helynek (dokumentumnak) a létezéséről minden érintett tudjon.

Példa 2.

Tárjuk fel az átfedéseket. Törekedjünk a párhuzamos feladat végzések, felelősségi körök, hatáskörök felszámolására. Vegyünk néhány példát, ahol átfedések alakulhatnak ki:

- Minőségügyi és repülésbiztonsági, munka és tűzvédelmi auditálási, ellenőrzési módszerek fajtáiban és végrehajtásában;
- A javító intézkedések visszaellenőrzésének terén;
- Jelentési és okmányolási rendben;
- A rendszert működtetők képzettsége területén;
- Az egész szervezetre vonatkozó hatáskör területén.

Példa 3.

Szakszerű és minőségi munka csak szakképzett és hozzáértő személyektől várható. Minden szervezet alapvető érdeke, hogy meghatározza a működéséhez szükséges személyi állomány képzettségi szintjét és gondoskodjon a képzések végrehajtásáról. Ebből kiindulva a következő megállapításokat tehetjük:

a) Minden szervezetnek ki kell neveznie egy megfelelő hozzáértéssel, hatáskörrel és anyagi forrásokkal rendelkező képzési vezetőt;
b) A szaktevékenység végrehajtásához szükséges képzéseket maradéktalanul végre kell hajtani;
c) A biztonsági képzéseknek szerves részévé kell válnia a szakmai képzési rendszernek.

Megjegyzendő, hogy bizonyos esetekben a képzési vezető kinevezése kötelező. Ilyen kötelező érvényű előírást tartalmaz például a kereskedelmi légiközlekedést szabályozó EU-OPS. Hiányossága a szabályzásnak, hogy a megnevezett képzési vezető (nominated post holder, training manager) felelősségi körébe csak a légiüzemeltetést végző személyek (tehát a hajózó állomány) képzésével kapcsolatos kérdéseket szabályozza, illetve utalja a képzési vezető hatáskörébe. Teljesen hiányzik egy megnevezett képzési vezető kötelező kijelölésének igénye a 2042/2003 Európai Uniós Rendeletből, mely a műszaki szervezetek tevékenységét szabályozza. Az ilyen jellegű hiányosságot a szervezet saját hatáskörében pótolhatja, így megalkotva az SMS egyik „lábát”

Az SMS következő „lábát” már megalkothatjuk a hajózó, műszaki, földi kiszolgálói stb. állomány képzettségét nyilvántartó és társasági megbízási rendszer egységesítésével.

Példa 4.

A jogszabályi háttér megismerése és értelmezése elengedhetetlen. A hazai és nemzetközi jogszabályok (szakmai szabályok) egyes tekintetben kiegészítik egymást, de ellentmondásosak is (eltérő mélységű szabályzás és követelményrendszer). Vegyünk példákat ezekre az ellentétekre, vagy átfedésekre.

- 123/2005 Rendelet és az EU-OPS 1 szerint ki kell nevezni egy repülésbiztonsági vezetőt. Szükséges képzettsége: balesetkivizsgálói tanfolyam.
- 104/2004 Korm. Rendelet szerint ki kell nevezni egy repülésvédelmi tisztet. Szükséges képzettsége: felsőfokú, repülőmérnök vagy rendőri szakirány.

- 2042/2003 EK rendelet szerint alkalmazni kell ARC staff-ot – (légijármű légialkalmassági felügyelő állományt), Szükséges képzettsége: felsőfokú repülőműszaki vagy Part-66 C.
- 123/2005 Rendelet szerint a repülésbiztonság feladata a légiközlekedési jogszabályok betartásának felügyelete az üzembentartónál. A légialkamasság felügyelete, illetve ellenőrzése az – ARC staff feladata.

A fenti négy példából láthatóak az átfedések, illetve párhuzamosságok szembetűnőek. A repülésbiztonsági terület vezetője, ha rendelkezik felsőfokú repülőműszaki végzettséggel (márpedig ez alapvető követelmény), repülésbiztonsági balesetkivizsgálói tanfolyammal, repülésvédelmi tanfolyammal, illetve karbantartási irányítási, légialkalmasság felügyeleti tapasztalattal, egyszerre három funkciót tölthet be. Ezt a vonatkozó jogszabályok lehetővé teszik. Tehát egyszemélyben lehet repülésbiztonsági vezető, repülésvédelmi tiszt és ARC staff. Természetesen az ilyen összevonásnak személyi és képzési/képzettségi feltételei vannak.

Példa 5.

A hazai 123/2005 és 104/2004 rendeletek, valamint a 2042/2003 EK rendelet is kötelezővé teszi az események jelentését. Az említett jogszabályokban lefektetett, hasonló követelmények alapján kézenfekvő, hogy a repülésbiztonsági, repülésvédelmi és karbantartási események jelentési rendszerét egységesíteni lehet. Magán a jelentési rendszeren kívül egységesíthetőek az esemény vizsgálati eljárások egyes elemei, a vizsgálatokat végző és ügyeleti szolgálatokat ellátó személyek képzése, stb. Ehhez a témakörhöz csatolható 123/2005 rendelet szerinti katasztrófavédelmi tevékenység, mely egységesített (repülésbiztonsági, repülésvédelmi, veszélyes anyag kezelési, tűzvédelmi, stb.) katasztrófavédelmi tervben testesülhet meg.

Példa 6.

A minőségügyi és biztonsági javító intézkedések hatásai vissza-ellenőrzésének, a „monitoring” rendszer működtetésének egyik fontos elemévé válhat a 2042/2003 EK Rendelet által megkövetelt AD/SB nyilvántartási rendszer, a karbantartási program fejlesztési tevékenység, az ismétlődő meghibásodások figyelésének és a megbízhatósági programnak az egységesített kezelése. Nyilvánvaló, hogy egy ismétlődő meghibásodás sorozat közvetlen kihatással van a repülőgép, a hajtómű vagy valamilyen berendezés megbízhatóságára. Az ismétlődő meghibásodások elhárításának módja lehet egy gyártói bulletin kidolgozása, amelyet a felügyelő hatóság kötelező végrehajtásra rendel el. A végrehajtás elrendelését (amennyiben ez például üzemidőhöz kötötten ismétlődhet) jelenítheti meg az üzembentartó a karbantartási program módosításával. Ugyanezt a sorrendet eredményezheti egy repülőesemény vizsgálatából leszűrt javító intézkedés is. Továbbmenve, ilyen intézkedés-sorozatot indíthat el a FOQA vagy a MOQA rendszerből származó információk kiértékelése.

Tegyük fel, hogy az időszakos karbantartások során a műszaki állomány több repülőgépen is, ismételten olyan meghibásodást tár fel, mint a fékszárny működtető mechanizáció bekötési csomópont repedése. A FOQA rendszer ezzel párhuzamosan olyan adatokat ad, hogy a hajózó állomány

rendszeresen nem az előírt sebességen, hanem annál magasabb értéken bocsátja ki a szárny mechanizációt. Egy esetben a bekötési csomópont nem csak megrepedt, hanem leszállás közben eltört és emiatt a mechanizáció közbenső helyzetben beékelődött. Az eset vizsgálata azt mutatja, hogy a bekötési csomópontok repedése ismert tény volt a gyártó előtt, emiatt már egy bullentinben kidolgozta a csomópontok megerősítésének módját, a felügyelő hatóság pedig a végrehajtást (egy ismételt ellenőrzés sorozat mellett) elrendelte. Az SB/AD egyben rendelkezett a fékszárny kibocsátás során a repülési sebesség csökkentéséről. A fentiekből kifolyólag az üzemeltetőnek saját hatáskörben kiegészítő oktatást kell tartania a hajózószemélyzetnek a megváltozott repülési eljárásokról, a műszaki szervezetnek pedig intézkednie kell az SB végrehajtására és az ismételt ellenőrzések miatt a karbantartási program módosítására. Amennyiben az üzemeltető egy jól felépített SMS-t működtet, a FOQA rendszer folyamatos kiértékelése biztosítva van, a karbantartó szervezettel a kapcsolat rendszeres, az üzemeltető működtet megbízhatósági programot, illetve figyeli az ismétlődő meghibásodásokat, a képzési rendszer reagálása gyors, a műszaki állomány öntevékenyen is képes a karbantartási program elemzésére és módosítására, úgy még a hatósági intézkedés (AD hivatalos kiadása) előtt meg lehet tenni a megelőző intézkedéseket.

Példa 7.

Érdekes és hasznos összevonásokra kerülhet sor különböző vezetők vagy szakterületek által kötelezően végrehajtandó vagy összeállítandó értekezletek és jelentések területén. Néhány példa felsorolásával tekintsük át ezeket a jelentéseket vagy értekezleteket:

a) Az ISO 9001:2000 szerinti évente egyszeri vezetői átvizsgálás;
b) A Gazdasági Törvény szerinti éves kötelező, minimum egy alkalommal tartandó taggyűlés;
c) A 123/2005 rendelet szerint éves és féléves repülésbiztonsági jelentés;
d) A 2042/2003 EK rendelet szerinti rendszeres karbantartási program hatásosságának elemzése;
e) A 2042/2003 EK rendelet szerinti rendszeres munkaerő kapacitás tervezés;
f) A FOQA rendszer működtetésével kapcsolatos rendszeres kiértékelés.

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a gyakorlatban a következő értekezleti-jelentési rendszert lehet bevezetni:

Havonta végzett FOQA/MOQA kiértékelés az adott típus/szakág szakemberei által elvégezve.

Dokumentálva: FOQA/MOQA jelentési lapokon.

Negyedéves hajózó-műszaki értekezlet a szakági vezetők részvételével, az alábbi tartalommal:

- Repülésbiztonsági, repülésvédelmi és munkabiztonsági helyzet értékelése,
- Műszaki/karbantartási tevékenység értékelése,
- Hajózó tevékenység értékelése,
- Végrehajtandó SB/AD-k áttekintése
- Következő negyedéves képzési feladatok meghatározása,
- Minőségügyi észrevételek áttekintése,

- Soron következő karbantartási feladatok áttekintése.

Dokumentálva: Összevont MEHA értekezleti jegyzőkönyv és a KSZB részére küldendő negyedéves repülésbiztonsági jelentés. Tulajdonosi döntést igénylő esetekben kiegészítőleg képviselői taggyűlés, a határozatok Taggyűlési Jegyzőkönyvben dokumentálva.

Éves vezetői értekezlet a szakági vezetők részvételével, az alábbi tartalommal:

- A negyedéves értekezletekkel megegyező témakörök áttekintése éves szintre kivetítve.
- Éves minőségügyi audit terv alapján végzett ellenőrzések eredményeinek áttekintése
- Minőségügyi vezetői átvizsgálás elvégzése
- Éves repülésbiztonsági értékelés.
- Tulajdonosi Taggyűlés.

Dokumentálva: Vezetői átvizsgálási jegyzőkönyv, a KSZB részére küldendő éves repülésbiztonsági jelentés, Taggyűlési Jegyzőkönyv.

Példa 8.

Úgy az EU-OPS, mint a 2042/2003 EC rendelet egyik sarokköve a szervezetet irányító felelős vezető kötelezettség vállalási nyilatkozata (Corporate commitment by the Accountable Manager). Ebben a nyilatkozatban a szervezet hatóságilag jóváhagyott vezetője kötelezettséget vállal arra nézve, hogy biztosítja a mindenkori jogszabályokat kielégítő, megfelelő színvonalú szakmai tevékenység elvégzését, valamint a működéshez szükséges pénzügyi háttér biztosítását. A nyilatkozat elvi hiányossága, hogy egy gazdasági társaság ügyvezetése csak a tulajdonosok által magszabott irányelveknek megfelelően gazdálkodhat. Ez azt eredményezheti, hogy a tulajdonosok például osztalék kivétele után csak olyan mennyiségű pénzügyi mozgásteret hagynak az ügyvezetésre, ami csak a legminimálisabb szakmai elvárások teljesítését teszi lehetővé. Emiatt – a Gazdasági Törvény adta lehetőségekkel élve – az ügyvezetés igényelheti a tulajdonosi Taggyűlés olyan határozatát, mely kimondja, hogy osztalék csak abban az esetben vehető ki, ha a repülésbiztonsági rendszer működtetéséhez szükséges anyagi fedezetet már elkülönítették.

4. ÖSSZEFOGLALÓ

Ahogyan a tanulmány címe is jelezte, nem törekedtem arra, hogy az SMS bevezetésével kapcsolatos minden gyakorlati kérdést áttekintsek. A tanulmány egyes részei megpróbálnak rávilágítani olyan kérdésekre, amelyek a légijármű üzemeltető vagy karbantartó szervezeteknél a napi szinten, a gyakorlatban is felvetődhetnek. Néhány esetben konkrét példákkal kívántam ismertetni, hogy egy adott témakört miként lehet megközelíteni. A példák értékét az adja, hogy azok már 1-1,5 éve – a légiközlekedési hatóság vagy a KSZB által elfogadott módon megvalósultak, illetve működnek.

A fenti elvek alapján a példaként vett légitársaságnál megtörtént a Repülésbiztonsági Szabályzat, a Minőségügyi Rendszer Szabályzat, a Folyamatos Karbantartás Felügyeleti és Karbantartó Szervezeti

Szabályzat, valamint a Légiüzemeltetési Kézikönyv módosítása. A társaság irányítási, személyi és képzési politikája, jelentési rendszerének módosítása szintén a fentiekben vázolt elvek megvalósításának irányába mutató módon folyik.

Remélem, hogy e rövid ismertető segítséget nyújthat más szervezeteknél dolgozó kollégáknak is saját munkájuk elvégzésében.

A tanulmány mellékleteiben néhány konkrét megvalósítási módszer van bemutatva.

Mellékletek: 1-5.

1. sz. melléklet

TAGGYŰLÉSI JEGYZŐKÖNYV

mely a XXX Kft. székhelyén megtartott Taggyűlésen **2007. november 17-én** készült.

Jelen vannak:

XXX taggyűlési elnök,
XXX jegyzőkönyv-hitelesítő
XXX, **jegyzőkönyvvezető**

A Taggyűlés elnöke megállapítja, hogy a Taggyűlés összehívására szabályszerűen került sor.
A Taggyűlés határozatképes.

A Taggyűlési elnök a jegyzőkönyv vezetésére XXX, a jegyzőkönyv hitelesítésére XXX kéri fel.

A **Taggyűlés napirendi pontjai** az alábbiak:

1. Üzemeltetési költségek biztosítása

1. napirendi pont: Üzemeltetési költségek biztosítása

Az ügyvezető tájékoztatta a taggyűlést, hogy a vonatkozó légiközlekedési jogszabályok értelmében a repülésbiztonsági kellő szinten tartásának biztosítása érdekében a légiközlekedési hatóság által elfogadott felelős vezető (accountable manager) felelőssége a légijárművek üzemeltetésével és karbantartásával kapcsolatos feladatok pénzügyi fedezetének biztosítása.
A fenti követelmény teljesítése érdekében a tagok kötelezik magukat, hogy osztalék kiosztására csak abban az esetben kerülhet sor, ha a következő pénzügyi tartalékok rendelkezésre állnak:

- légiüzemeltetési feladatok végrehajtásának pénzügyi fedezete
- a légijárművek karbantartásának pénzügyi fedezete
- a személyi állomány képzésének pénzügyi fedezete
- a földi kiszolgálási feladatok végrehajtásának pénzügyi fedezete

- az előre nem tervezett repülésbiztonsági, repülésvédelmi és munkabiztonsági feladatok végrehajtására céltartalék van képezve. A céltartalék nagyságának meghatározása a felelős vezető (accountable manager) felelőssége.

Ezt követően a Társaság Taggyűlése egyhangú szavazatarránnyal meghozta az alábbi határozatot:

1/12/2007. sz. határozatot:

A Taggyűlés egyhangú szavazatarránnyal úgy döntött, hogy az üzemeltetési költségek biztosításával kapcsolatos osztalék kivételi elveket elfogadja.

A határozatot a mai napon a határozatok könyvébe bevezettük:

XXX
taggyűlési elnök

XXX
jegyzőkönyv-hitelesítő

XXX
jegyzőkönyvvezető

2.sz. Melléklet

Esemény Bejelentő Lap *XXX szervezet, cím, telefon, fax*	**Esemény száma**

Esemény dátuma	**Esemény időpontja (LT)**	**Esemény helye**	
		Esemény besorolása	
Értesítés vételének dátuma	**Értesítés vételének Időpontja (LT)**	**Értesítő személye**	
		Egyebek	
Légijármű típusa		**A repülési feladat jellege**	
Légijármű lajstromjele		**Járatszám**	

A légijárműn tartózkodó személyek (szükség esetén részletesen lásd a Személyi Lap táblázatban)*

Feladat	**Név**	**Sérülés jellege**
Légijármű parancsnoka		
Másodpilóta		
Egyéb hajózó személy		
Egyéb hajózó személy		
Egyéb hajózó személy		
Egyéb hajózó személy		
Egyéb hajózó személy		

Szállított áru jellege

Személyi sérülés történt: igen nem | **Veszélyes árú: igen nem**

Repülési fázis	**Parked**	**Push back**	**Taxi**	**Take-off**	**Climb**	**Cruise**	**Descent**	**Holding**	**Approach**	**Landing**
	O	**O**	**O**	**O**	**O**	**O**	**O**	**O**	**O**	**O**

Repülési adatok	Altitude …….FT	Speed ……..kts	Flaps ……	Slats ……..	Thrust EPR/N’ …….	Gear Up/Down	Auto Pilot Y / N	Auto Thrust Y/N	Spoilers …….

Időjárás	IMC/VMC	Wind	Visibility	Cloods No/ <4/8 > 4,8	Temp	QNH	PRECIPITATION
		……..° / ……..kts	…….M		…….ºC	…….hp	Fg Dz Rn Sn Nil

Esemény leírása

Tett intézkedések

Értesített személyek és szervezetek	**dátum**	**Időpont (LT)**	**Értesítés módja (tel., fax,)**
Polgári Légiközlekedési Hatóság			
Polgári kivizsgáló szervezet			
Katasztrófa elhárítás, mentők, rendőrség			
Ügyvezető Igazgató			
Repülésbiztonsági Vezető			
Főpilóta			
Műszaki vezető			
Biztosító			
Jogi képviselő			
Egyéb szervezet vagy személy			

Az esemény bejelentést végző személy neve **aláírása**

Form xxx

3.sz. melléklet

Észrevételi és javító intézkedési lap

Finding and Corrective Action Data Sheet

Audit tárgya *Subject*			**Hivatkozási szám** *Reference No.*
Audit típusa *Type of Audit*	**Tervezett** *Planned* ☐	**Nem tervezett** *Not Planned* ☐	**Visszaellenőrző** *Follow up* ☐
Az eltérés leírása *Non conformity description*			

Az eltérés feltárásának adatai és súlyosságának besorolása

Data of non-conformity and category of seruously

Auditált szakterület *Audited Section*	**Enyhe (3. Szint.)** ☐ *Mild (level 3.)*	**Repülésbiztonságot érint** *Flight safety related*
Hivatkozott követelmény *Referred requirement*	**Közepes (2. Szint.)** ☐ *Medium (level. 2.)*	**Nem** ☐ *No*
Auditor neve *Name of Auditor*	**Súlyos (1. Szint)** ☐ *Heavy (level. 1.)*	**Igen** ☐ *Yes*

Vezető auditor neve *Leader auditor's name*	**Aláírása** *Signature*	**Dátum** *Date*
Az eltérés fő oka *Root cause of non conformity*		
Auditált szakterületi vezető aláírása *Signature of audited section leader*		**Dátum** *Date*
Helyesbítő/javító intézkedés módja *Kind of corrective action*		**Végrehajtási határidő** *Deadline of performance*
Helyesbítő/javító intézkedés módját meghatározta *Kind of corrective action determinates by*		**Dátum** *Date*
Helyesbítő/javító intézkedést megtette *Corrective action completed by*		**Dátum** *Date*

Visszaellenőrzés

Follow up

Szükséges *Needed* ☐	**Elfogadva** *Verified*	**Igen** *Yes*	**Nem** *No*	**Auditor neve** *Name of auditor*	**Dátum** *Date*
Nem szükséges *Not needed* ☐		☐	☐	**Aláírása** *Signature*	
A Minőségügyi Vezető az intézkedést elfogadta *Corrective action accepted by Quality Manager*					**Dátum** *Date*

Form No. xxx

1. 8. Rész	**A meghibásodások jelentése**
Part 1.8	***Defect reports***

Responsible for functional direction: Technical Director	**Az eljárás elvi helyességéért felelős:** Műszaki Igazgató
Affected organisation leaders: All	**Érintett szervezeti vezetők:** Összes
Purpose: Regulation of aircraft and its component defect reports.	**Az eljárás célja:** A légijármű és berendezései meghibásodásai jelentési rendjének szabályzása.
Connected procedures: CAMOE, FSE part 3. and 7. ASP part 6, OM part A9, 10, 11. QSE part 8.	**Kapcsolódó eljárások:** CAMOE, FSE 3. és 7. fejezet, ASP 6. fejezet OM A9, A10, A11,. Fejezet. QSE 8. fejezet

1 General

In the course of the maintenance of the aircraft the following documents are used for recording defects:

- Operational Data Sheet (ODS);
- Job Card (JC);
- Defect Report and Deferred Defect Sheet (DR-DDS)
- Damage Chart (DC)
- Maintenance records of other Part-145 approved / accepted maintenance organisation mainly including – but not limited to – defect record.

Pilots-in-command and maintenance personnel shall accomplish the following requirements concerning defect recording:

- measured parameters in the course of maintenance and the malfunction messages of aircraft shall be recorded in all cases independent of the fact whether they are within the allowed limits or not;
- The document (ODS) containing the description of the defect shall also contain the time of the repair work, the aircraft type, registration mark, the actual form of maintenance, the classification by ATA code if it aplicable and the paragraph of the maintenance instruction followed;

1. Általános

A légijárművek karbantartása során a következő okmányok szolgálnak a hiba dokumentálására:

- Üzemeltetési Adatlap (ODS);
- Munkalap (JC);
- Hibalap és Halasztott Hiba Lap (DR-DDS);
- Sérülési album (DC);
- Egyéb Part-145 szerint jóváhagyott / elfogadott karbantartó szervezetek karbantartási okmányai, ezen belül elsősorban – de nem kizárólag – a hibalap.

A légijármű-parancsnoknak és a műszaki személyzetnek a következő követelmények szerint kell a hiba dokumentálását elvégzeniük:

- minden esetben rögzíteni kell a légijármű karbantartása során mért paramétereket, illetve a légijármű rendszerek hiba-üzeneteit függetlenül attól, hogy azok a megengedett tartományon belül vannak vagy sem;
- A meghibásodás leírását tartalmazó okmánynak (ODS) tartalmaznia kell a hibajavitás időpontját, a légijármű típusát, lajstromjelét, az adott karbantartási formát, ha van ATA-kód szerinti besorolását és azt, hogy a karbantartási utasítás melyik pontja szerint hajtották végre az ellenőrzést;

- The pilot-in-command should record defects detected during flight (flight leg) according to the observed sequence of defects;
- the ODS shall contain the part number, production number and elapsed time data of equipment removed and replaced in the course of repair;
- the causes of failure and the repair method of equipment removed in the course of repair shall be recorded.

- A légijármű parancsnoka a repülés (repülési szakasz) során észlelt hibákat az észlelés sorrendjében köteles dokumentálni.
- az ODS-nek tartalmaznia kell a hiba javítás során leépített és felépített berendezések cikkszámát, gyári számát, üzemidő adatait ha van;
- a dokumentálnia kell a hibajavítás során leépített berendezések meghibásodásainak okát és javításuk módját.

2 Defect analysis

With assistant of Planning, Engineering and Technical Library Section the Technical Director is responsible for preparing the evaluation, analysis of the defect data, and the elaboration of the engineering proposal. However the company does not maintane a "Reliability and Technical Effectiveness Programme" for safety and effectivness reasons the company carry out a defect analysis program.

2. Meghibásodások elemzés

A meghibásodások adatainak kiértékelése, elemzése, mérnöki javaslat kidolgozása a Tervezési, Mérnökszolgálati és Műszaki Könyvtár részleg segitsége mellett Műszaki Igazgató feladata. Bár a társaság nem működtet "Megbízhatósági és műszaki hatékonysági program"-ot, a meghibásodások folyamatos elemzése elősegiti a repülésbiztonság javítását és a gazdaságos üzemeltetést.

3 List of mandatory reported defects

List of mandatory reported defects published in 2042/2003 EC Dicertive and 123/2005 (XII.29.) ETM Decree..

3. Jelentésköteles meghibásodások listája

Jelentésköteles meghibásodások listáját a 2042/2003 EK Irányelv és a 123/2005 (XII.29.) GKM rendelet tartamazza.

4 Liaison with manufacturers and Regulatory Authorities

In case of major defects discovered in the course of aircraft operations and maintenance and about defects which could cause the loss of airworthiness of the aircraft and that could seriously hazard the aircraft, the Technical Director is responsible for notify within 72 hours the HGCAA, TSB, the owner of the Type Certificate, Supplementary Type Certificate of the aircraft, engine

4. Kapcsolattartás a gyártókkal és a légügyi hatóságokkal

A Műszaki Igazgató köteles a légijármű üzemeltetése és karbantartása során feltárt jelentős és a légialkalmasság elvesztését okozó vagy a légijárművet súlyosan veszélyeztető meghibásodásokról a magyar PLI-ot, a KBSzt, az érintett légijármű, hajtómű vagy berendezés típusbizonyítványát (vagy kiegészitő típusbizonyitványát) kiadó hatóság, a

or equipment concerned, the manufacturer, designer and the competent Aviation Authority.

tulajdonos, gyártó és tervezőiroda 72 órán belüli értesitése.

5 Deferred defect policy

5. Halasztott hibajavítással kapcsolatos politika

All defects recognised on line and at start of base maintenance and discovered during the maintenance shall be repaired in the course of maintenance.

A forgalmi és időszakos karbantartás megkezdésekor vagy a karbantartás során feltárt összes hibát a karbantartáskor ki kell javítani.

Deferring of recognised defects may be permitted only by the Technical Director on base of conserned technical documentation, or the manufacturer or HGCAA approvement. The permission of the HGCAA shall be asked in writtin form by Technical Director. The all connected technical documentation shall be attached to the application.

A feltárt hibák kijavításának halasztását csak a Műszaki Igazgató engedélyezheti a légijárműre vonatkozó műszaki dokumentumok, gyártói vagy magyar PLI jóváhagyás alapján. A magyar PLI jóváhagyását írott formában a Műszaki Igazgató köteles megkérni. A kérelemhez minden kapcsolódó műszaki dokumentumot csatolni kell.

The application for the permission shall contain the precise description of the defect, the planned date of repair, measures taken and planned for repair and special procedures during flight and maintenance until the defect is repaired.

Az engedély kérelemnek tartalmaznia kell a hiba pontos leírását, az elhárítás tervezett időpontját, és az elhárítás érdekében eddig tett, illetve tervezett intézkedéseket, a hiba elhárításáig a karbantartás, illetve repülés végrehajtás során szükséges külön eljárásokat.

The deferred defect rectification shall be recorded in the DR-DDS sheet indicating the chapter, page, paragraph, etc. of the document permitting it.

A hiba javítás halasztását DR-DDS lapon kell dokumentálni a hiba elhalasztását lehetővé tevő dokumentum, fejezet, oldal, bekezdés stb. pontos megadásával.

The period for the deferred defect cannot exceed expressed in calendar time, flight hours, number of landings, etc. the longest period indicated in the document referred to.

A hiba javítás elhalasztásának időtartama naptári időben, repült órában, leszállás számban stb. nem haladhatja meg a hivatkozott dokumentum által megadott legnagyobb időtartamot.

Int he same time of defering the defect tthe Planning, Enginereing and Technical Library section harmonizes with Maintenance Manager takes action for securing of repairing's condition. Repairing shall be provided before deadline of deferring.

A hiba javítás elhalasztásával egyidőben a Tervezési, Mérnökszolgálati és Műszaki Könyvtár részleg a Karbantartási Vezetővel egyeztetve intézkedik a hibajavítás feltételeinek megteremtésére úgy, hogy azt a halasztás lejárta előtt végre lehessen hajtani.

ToC	**Tartalomjegyzék**
ToC	***Table of Content***

Tartalomjegyzék
Table of Content

Rész *Part*	Fejezet *Section*	Oldal *Page*
COV	**Fedőlap** *Cover Page*	COV-1
SOA	**Jóvahagyási Lap** *Sheet of Approvement*	SOA-1
DIL	**Elosztó** *Distribution List*	DIL-1
LEP	**Érvényes oldalak jegyzéke** *List of Effective Pages*	LEP-1
ROR	**Módosítások nyilvántartó lapja** *Record of Revision*	ROR-1
RN	**Módosítási értesítő** *Revision Notic*	RN-1
TOC	**Tartalomjegyzék** Table of Content	TOC-1
1	**Biztonsági Politika** *Safety Policy*	1-1
2	**Általános információk** *General Information*	2-1
3	**Üzembentartói Balesetügyeleti Szolgálat és esemény bejelentések** *Operator's Accident Duty Service and reporting of event*	3-1
4	**Helyszinbiztositás, roncsok, bizonyitékok és ingóságok őrzése** *Securing of the location, safekeeping of the wreckage, evidences and goods*	4-1
5	**Szakmai vizsgálat** *Profesional investigation*	5-1
6	**A Repülésbiztonsági Szolgálat, integrált Biztonság Irányítási Rendszer és „Balesetmegelőzési és repülésbiztonsági program"** *Flight Safety Service, integrated Safety Management System and „Accident Prevention & Flight Safety Program"*	6-1
7	**Rendszeres jelentési kötelezettség** *Regularly Reporting Liability*	7-1
8	**Képzés** *Training*	8-1

ToC	**Tartalomjegyzék**
ToC	***Table of Content***

9 **A szolgálati helység és eszközök** 9-1
Duty service room and equipment

10 **Katasztrófa Felszámolási Terv** 10-1
Emergency Plan

Att. 1 **Esemény Bejelentő Lap**
Occurance Report Sheet

Att. 2 **Értesitési Cimek**
Communication Address List

Att. 3 **Személyi Lap**
Personal Sheet

Att. 4 **Kockázatértékelési vizsgálati lap**
Hazard Estimation investigation sheet

Att. 5 **Földi esemény – baleset – sérülés jelentés**
Ground incident – accident – damage report

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Vas Tímea – Somosi Vilmos

A MAGYAR HONVÉDSÉG MOBIL ATM KOMPONENS LEHETŐSÉGEI A NATO HADMŰVELETI REPÜLŐTEREIN

BEVEZETÉS

A 2008 őszétől 2009 tavaszáig Kabul Nemzetközi repülőtéren (NATO ISAF KAIA, Afganisztán) szolgálatot teljesítő Légi Hadműveleti Központ állománya nemzetközi elismerést és ismertséget szerzett a Magyar Honvédség számára. A magyar vezető nemzeti szerepkört betöltő állomány feladata egy NATO hadműveleti területen lévő repülőtér polgári és műveleti légiforgalma biztonságos áramlásának és kiszolgálásának biztosítása volt. Természetesen egy repülőtér üzemeltetése sokrétű szervezési, tervezési és koordinálási feladatot foglal magában, melyek szerves része az ATM[1] Air Traffic Management – légiforgalom-szervezés munkája is.

Egy hadműveleti területen lévő, nemzetközi forgalmat is kiszolgáló repülőtér önálló üzemeltetése egy NATO nemzet számára, rendkívül megerőltető feladat lenne. A teljes felelősség vállalásának megosztása és a sokrétű feladatok kiszolgálása miatt egy többnemzetiségű egység létrehozásának gondolata merült fel a szövetség részéről. A közös erőfeszítéssel biztosítható repülőtér üzemeltetés és ATM kiszolgálás érdekében 2004 novemberében elfogadásra került a *Principles and Elements for a NATO Deployable ATM Component* című dokumentum, mely részleteiben tartalmazza a tagországok felajánlásán alapuló, modulokból álló telepíthető ATM komponens megalakításának és alkalmazásának részleteit.

A Magyar Honvédség részéről is felmerült ebben a feladatban való szerepvállalás.

A cikkben a szerzők bemutatják a kabuli repülőtér üzemeltetésében szerzett tapasztalatokat, a NATO missziók ATM feladatainak szabályozói hátterét és a Magyar Honvédség NATO Telepíthető ATM Komponensbe delegálható erőinek lehetőségeit.

KABUL NEMZETKÖZI REPÜLŐTÉR ÜZEMELTETÉSÉBEN SZERZETT TAPASZTALATOK

Az elmúlt hat hónapos KAIA vezető nemzeti üzemeltetésben szerzett tapasztalatok, valamint a NATO műveleti területen történő repülőtér-üzemeltetésének körülményeire kidolgozott Telepíthető ATM Komponens Koncepcióban megfogalmazott irányelvek fúziójával e dolgozatban ismertetésre kerülnek

[1] ATM - a légiforgalmi irányítás, légiforgalmi tájékoztatás, légtérgazdálkodás, repülőtér üzemeltetés és a misszióban résztvevő szakállomány kiképzésének, felkészítésének gyűjtőfogalma

azon munkakörök, szolgálati elemek, és repülőtér üzemeltetési, ATM biztosítási sajátosságok, melyek meghatározzák a Magyar Honvédség jövőbeni mobil ATM komponense megalakításának lehetőségeit.

A béketeremtés fázisában lévő országok esetében maguk a repülőterek, melyek az úthálózat és egyéb infrastruktúra hiányában kaput nyithatnak a világ felé. Természetesen a repülőterek állapota és annak szövetségi elveken alapuló üzemeltetése nagymértékben meghatározza az oda tervezhető forgalmat is. A háborús konfliktusok nyomainak felszámolása így egyre szélesebb távlatokat nyit az üzemeltetés és a kiszolgálható forgalom tekintetében. Ennek egyik magyarázata, hogy a műveleti térségben működtetett repülőtér légi forgalma a kezdeti időszakban kizárólag műveleti, az idő előrehaladtával vegyes (elsődlegesen katonai és másodlagosan polgári, majd a későbbiekben túlnyomórészt polgári és csökkenő mértékben katonai), illetve a végső, békeidőszaki működésben csak polgári jellegű, melyből adódóan az ATM biztosítás is az igényekhez igazodva folyamatosan változik. Ez a változás különösen a személyi állomány alkalmazási körülményeiben, az infrastrukturális fejlesztésekben és a működéssel szemben támasztott követelmények katonai sztenderdekről polgári szabványokra történő átállásában mutatkozik meg.

A hadműveleti területeken lévő repülőterek szolgálatai és szolgáltatásai így némileg különböznek más nemzetközi repülőterek üzemeltetését és repülését kiszolgáló és biztosító szolgálatoktól, habár ez utóbbi repülőterek biztonsági szolgálatainak is számolniuk kell a napjainkban aktuális terror veszély kockázatainak csökkentésével.

Általánosságban a repülőterek munkaterülete, mozgási területe, eljárásai és ATM szolgáltatásai az ICAO vonatkozó ajánlásai és előírásai szerint kerülnek kialakításra. Nincs ez másképpen hadműveleti területek azon repülőterein sem, melyek működési profilja elsődlegesen polgári légiforgalom kiszolgálását biztosítja. A különbség azonban – a még jelenlévő műveleti alkalmazás szövetségi követelményei miatt – számos más területen megmutatkozik, így pl. a munkaterület és a mozgási terület biztonságossá tétele is, mely olyan fontos szempont, amihez szorosan kötődik a tűzszerész-csoport *(EOD – Explosive Ordanance Disposal)* munkája.

A KAIA üzemeltetése során feladatuk az előzőekben említetten kívül kiterjed még a repülőtérre légi illetve földi úton érkező áru és személyek átvizsgálására is. Ehhez a tevékenységhez azonban ki kell alakítani egy olyan védett zónát, ahol az éles fegyverzettel felszerelt repülőeszközök parkoltatására és őrzés-védelmére hivatott. Ezen területeket *(Armament- Disarmament Area)* kiemelt figyelemmel kell kezelni, így esetlegesen speciális eljárások is kerülhetnek kidolgozásra, mely eljárások a teheráru mellett kötődhetnek a fedélzeten szállítandó személy biztonságához is, legyen az épp VIP vagy netán egy fogvatartott.

Mivel a biztonság elsődleges úgy a levegőben, mint a földön, fontos megemlíteni a repülőtér őrzésvédelmét biztosító ún. *Force Protection* szolgálatot valamint a belső rend fenntartásáért felelős *International Military Police* fegyveres szolgálatot. Mivel ezen a repülőtereken a külső támadások potenciális veszélye nem elhanyagolható, ezért az ott szolgálatot teljesítő állomány tisztában kell legyen az ilyen esetekben követendő eljárással, kiürítési tervvel, számukra kijelölt védett fedezékbe

való eljutás lehetőségeivel. A repülőteret ért esetleges támadás maradványa lehet egy fel nem robbant lövedék, de akár vegyi mentesítést igénylő terület is, mely utóbbi esetben a vegyi mentesítő csoport munkája sem elhanyagolható.

A repülőterek fogadóképességének fontos feltétele a tűzoltó szolgálat is, melynek mind a felszereltség mind a személyzet kiképzettsége szempontjából meg kell felelnie az NATO STANAG dokumentumokban rögzített szabványoknak, illetve ICAO ajánlásoknak. A tűzoltó kategória meghatározásában a repülőteret igénybe vevő, általános forgalmat alkotó repülőeszközök típusa a mérvadó, melyet a repülőtér képes fogadni és kezelni. Hadműveleti területen azonban gyakran előfordul vészhelyzetet deklaráló légiforgalom, mely a tűzoltó szolgálatok azonnali mozgósítását igényli, és ezáltal a tűzoltó kategória ideiglenes visszaesését is. Ennek következménye, hogy a kényszerhelyzet időszakában csak olyan repülőeszközöket fogadhat és indíthat a repülőtér, melyeknek megfelel az éppen aktuális szolgáltatás szintje.

A munka-és mozgási területet elhagyva térjünk át a levegőben követendő eljárásokra és munkafolyamatokra. Általánosságban igaz, hogy a hadműveleti repülőterekre érkező és onnan induló légiforgalom a szükségesnél több időt nem tölt a földön. Ezért – a műveleti alkalmazás körülményeiből adódóan – különösen fontos a polgári légi közlekedéshez képest jóval pontosabban számított érkezési és indulási idők betartása, figyelembe véve a szállítandó áruk illetve személyek ki- illetve berakodását.

A térségben folyó katonai műveletek miatt a légi forgalom ezirányú szervezése és a túlnyomórészt műveleti légtér-gazdálkodás indokolttá teszik a repülőtéri műveletek időbeni precíz végrehajtását, elkerülve ezzel a repülőtér-üzemeltetésben jelentkező (és a polgári repülőtereken is más okokból tapasztalható) torlódásokat, késéseket, kapacitási túlterheléseket.

A repülőszemélyzetek a nemzetközi repülési terven mellett, meghatározott időben előre le kell adják az ún. előzetes parkolási kérelmüket vagy PPR-t *(Prior Parking Request),* mely biztosíthatja számukra az érkezésük függvényében a megfelelő parkolóhelyet, a kirakodáshoz szükséges földi eszközöket, üzemanyag felvételt a kért mennyiségben, veszélyes áru illetve hadianyag szállítása esetén szükséges eljárásokat vagy VIP személy szállításakor a rendfokozatának és pozíciójának megfelelő fogadást és védelmet. Mindezen feladatok szervezéséért, lebonyolításáért és nyilvántartásáért a következő napi menetrend *(Flowchart)* összeállításáért a légi műveleteket koordináló iroda *(Air Ops)* személyzete felel.

A repülőszemélyzetek és légiforgalmi irányítók napi felkészülését nemcsak a fent említett iroda segíti, hanem a Légiforgalmi Tájékoztató Szolgálat *(Aeronautical Information Service – AIS)* szolgálat is. A szervezeti elem feladata az adott ország légterében és repülőterein követendő léginavigációs és a repülésekhez kapcsolódó eljárások nyilvántartása és frissítése az alkalmazandó repülési szabályok tekintetében, repülések számára tiltott vagy korlátozásokkal igénybe vehető légterek nyilvántartása és a személyzetek számára elérhetővé tétele, valamint a repülőterek szolgáltatásainak, esetleges korlátozásoknak a naprakészen tartása. Hadműveleti területen különösen fontos, hogy bizonyos

légtereket csak a feladatban résztvevő forgalom vehessen igénybe, melynek célja nemcsak az egyéb, feladatban részt nem vevő forgalom védelme, de feladat sikeres végrehajtása is.

A repülőterek és az ahhoz kötődő forgalom biztonságos üzemelését a repülés biztonságáért felelős tiszt *(Flight Safety Officer – FSO)* is segíti. Munkája kiterjed a repülőtér fogadóképességét befolyásoló tényezők elhárításának koordinálására, legyen az a futópálya fogadóképességének megállapítása vagy éppen madárriasztás és egyéb állatok eltávolítása, kárhelyszín parancsnokként (*On Scene Commander – OSC)* a repülőbalesetek, repülőesemények illetve rendellenességek vizsgálata, illetve vészhelyzetek esetén a készenléti szolgálatok vezetése, munkájuk koordinálása.

A repülőterekhez kötődő ellenőrzött légterekben működő induló, érkező, keresztező (átrepülő) valamint a repülőtereken földi mozgást végző forgalom irányításáért a repülőtéri irányító szolgálat felelős. Munkájuk egyik kiemelten fontos eleme az előzőekben említett eljárások ismeretében az induló és érkező légiforgalom priorizálása. Az általánosságban ismert és *ICAO Anex 11* valamint a *Doc 4444 á*ltal meghatározott elsőbbségi sorrend a hadműveleti területen módosul, hiszen itt számolni kell többek között a fegyveres légvédelmi és egyéb műveleti készültségi repülések éles riasztásával, MEDEVAC repülésekkel, VIP vagy VVIP személyek szállításával. Természetesen a gyakran előforduló, vészhelyzetet deklaráló forgalom itt is a sor elején áll. A jelentős számú kényszerhelyzet oka többnyire az alkalmazott repülőeszközök elöregedett állapota, de számolni kell olyan esetekkel is, mikor nem koordinált pilóta nélküli légijármű repülése keresztezi az induló/érkező forgalmat, vagy a repülés a végső megközelítés vagy kezdeti emelkedés szakaszában tüzet nyitnak a repülőgépre. Ez utóbbi esetekben az ún. SAFIRE *(Small Arms Fire)* eljárás kerül végrehajtásra, melynek keretében a jelentések továbbítása indokolt a katonai felderítés felé. A SAFIRE alkalmával a gépparancsnok döntésén múlik, hogy a gépet ért sérülés függvényében folytatja a repülését vagy visszatér. Az ilyen esetek elkerülésére szolgálnak a műveleti forgalom (polgári repülőtereken békeidőben nem alkalmazott) taktikai érkezési és indulási eljárásai, melyet a repülésirányítónak (a speciális eljárások körében) szintén ismernie kell. A szövetségi műveletek kiszolgálására kijelölt ilyen repülőtereken – így KAIA-n is – repülő légijármű típusok változatossága a helikopterektől a nehéz *(Heavy)* turbulencia kategóriájú szállító repülőgépekig terjed, melyek manőverező képességének eltérősége különösen nagy figyelmet igényel a repülésirányító állománytól.

A légiforgalmi szolgálatnak fel kell készülnie arra is, hogy az alkalmazott frekvenciákat zavarhatják, ami esetleg ahhoz vezethet, hogy korlátozni kell a biztonságosan kezelhető forgalom mennyiségét. Jelentéseket kell tenniük a megfelelő szervek felé, hogy kiderüljön, honnan és milyen irányból érkezhet a zavarás, melyben segítségükre lehet a még jelenleg a MH-ban alkalmazott rádiók irányt mérő képessége.

A légiforgalmi irányító állomány munkájában kiemelt fontossága van a koordinációs eljárásoknak, amelyek nemcsak a szomszédos irányító szolgálatokkal való együttműködést jelenti, hanem a műveleti területen szolgálatot teljesítő más szárazföldi és légierő alakulatokkal (amelyek például pilóta nélküli

repülőeszközök *(UAV)* repülését irányítják, vagy műveletek parancsnokságainak összekötő tisztjeivel) is.

Nem elhanyagolható a földi illetve a légiforgalmat kezelő irányítók valamint a koordinátoruk egymás közötti hatékony együttműködése sem. Az ő munkájukat a felelős váltás parancsnok *(Duty Supervisor)* fogja össze és döntéseivel irányítja.

Bármely szolgálatot is említjük magyar szakértők részvételével, a szakmai irányultságú nyelvtudás nélkülözhetetlen. Multinacionális környezetben az angol nyelv a kommunikáció eszköze, annak érdekében, hogy a felmerülő problémákat minél gyorsabban és hatékonyabban meg lehessen oldani.

A NATO MISSZIÓK ATM FELADATAINAK SZABÁLYOZÓI HÁTTERE

Az ATM forgalomkörébe elsősorban a légiforgalom irányítás, légiforgalmi tájékoztatás és légtérgazdálkodás (Air Space Management) tarozik, de közvetett módon érinti a légiforgalmi szolgálatok szakszemélyzetének kiképzését és a légiközlekedés áramlás-szervezési folyamatait is. A fenti forgalomkör a békeidős feladatokat foglalja magában, a NATO viszont jóval körültekintőbben vizsgálta a külső, műveleti környezetben (azaz nem NATO ország területén) történő repülőtér üzemeltetést és légiforgalmi szolgáltatást. A NATO igényeinek való teljeskörű megfelelésérdekében került megfogalmazásra az említett NATO Telepíthető ATM Komponens koncepció, melynek keretében az eredeti ATM vonatkozású feladatkörök mellett már a repülőtér-, és navigációs berendezés üzemeltetés, valamint az ehhez társítható tervező oktatási és felügyeleti funkciókat is tartalmazza.

2005 áprilisára a NATO Légiforgalom-szervező Bizottsága *(NATO Air Traffic Managemnet Comittee – NATMC*) és az alárendeltségében működő Légiforgalom Szervezési Csoport (*ATMG-NATMC ATM Group – ATMG)* kidolgozta és folyamatosan karban tartja a Komponens rotációs elven alapuló felépítésének és működésének alapjait meghatározó dokumentumot. Ennek lényeges eleme, hogy a Komponens kialakítása modul rendszerű, így jó lehetőséget kínál a kisebb tagállamok számára is a számukra leginkább célszerű és erőforrás-alapokon nyugvó, anyagi-technikai képességei szerinti részvételre. A dokumentum alapján a Komponens működése felöleli a teljes békeidős ATM témakört-sőt, néhány helyen a témakört túl is lépi- így működését a NATO reagáló erők kötelékében képzeli el, de nem igényli a felajánlott erők állandó összetartását.

A koncepció megalkotására a NATO – az alapötlet megfogalmazása után – az érintett tagállamok részére kérdőívet készített, mellyel egy NATO felajánlás kialakítása helyett elsődlegesen a komponens működését befolyásoló helyi körülmények feltárását kívánta feltérképezni. A kérdőív ugyanakkor számba vette nem csak a katonai, hanem az esetleges polgári erőforrásokat is, lehetőséget biztosítva a tagállamok gazdasági célú szerepvállalásának erősítésére is.

A kérdőívekre érkezett válaszok alapján nyilvánvaló vált, hogy a műszaki-technikai eszközök biztosítása több NATO ország (így hazánk) részéről is nehézkes, ezért megkezdődött olyan

alternatívák kialakítása, amelyek szerint a szükséges berendezéseket a NATO központi keretből biztosítaná.

A kérdőívek alapján ugyanakkor az is világossá vált Magyarország számára, hogy a korábban gyakorta tapasztalt helyzetekkel ellentétben, e területen (a megfelelő szakmai ismeretekkel és tapasztalattal, képességgel rendelkező szakállomány alkalmazása révén) hazánk sincs jelentős hátrányban más hozzá hasonló országhoz képest, és megfelelő elkötelezettség esetén a már tervezési folyamatban hatékonyan képes lehet érdekeinek érvényesítésére ahhoz, hogy a misszióban való részvétel érdekében számunkra legkedvezőbb megoldás és nemzeti felajánlás szülessen meg.

A NATMC ATMG soros feladata volt azon alternatívák kialakítása, melyekből a NATMC a legmegfelelőbbet kiválaszthatja. A legmegfelelőbb modell alapján komponens aktiválási folyamata elindítható, a kérdőíven összegyűjtött erők és eszközök alkalmazhatósága pedig ez után értelmezhető. A NATO telepíthető ATM Komponens kialakítására vonatkozó, és korábban kidolgozott négy alternatíva további hárommal bővült, melynek eredményeként a Nemzetközi Törzs *(International Staff – IS)* a lehetséges alternatívákat az alábbi lehetőségek figyelembe vételével alakította ki:

- A komponens kialakítása minden NATO ország részvételével, vagy csak a tárgykör iránt érdeklődő és tenni kívánó országok csoportjára támaszkodva.
- Nemzeti források, vagy közös NATO források felhasználása, esetleg ezek kombinálása.
- Az alkalmazott források felett NATO parancsnokság, vagy nemzeti kiképzés, és gyakorlatok.
- Csak katonai személyzet alkalmazása, vagy bármilyen lehetséges erőforrás alkalmazása (civil és katonai)

A „csoport koncepció" összefoglalva azt jelenti, hogy minden egyes szakterület ellátására vonatkozóan egy csoport alakulna. A csoporttagok csoportvezetőt választanak. Békeidőben a csoport feladata az, hogy fenntartsa és nyilvántartsa a rendelkezésre álló erőket és eszközöket és eszközöket, valamint közös gyakorlatokat szervezzen. Krízis időszakában, a vezető nemzet, illetve a NATO meghatározott igényei szerint, a csoportvezető irányításával a csoport ellátja a szükséges feladatokat. Az erők és eszközök generálása és váltása a NATO hagyományos elveit követi.

A kijelölt és felajánlott erők, eszközök közül békeidőben egy rész magas készültségi fokban, egy rész alacsony készültségi fokban, egy rész kiképzés alatt állna. Krízis időszakában egy rész műveleti területen van, egy rész magas készültségi fokban, egy rész alacsony készültségi fokban várakozik. A magas készültségi fokból az eszközök azonnal, a személyzet 5 napon belül kell, hogy bevethető legyen.

A koncepció szerint a csoportvezető nemzetet 3 évre javasolt kijelölni, az egyes csoportokba pedig célszerű 3 évre jelölni az eszközöket és 1 évre a személyzetet. A csoportok eszközeit évente a személyzetet 3-6 havonta indokolt váltani hadműveleti területen. Ez azonban a nemzetek, így különö9sen a Magyar Honvédség erőforrásainak figyelembevételével, komoly nehézségekkel lenne

biztosítható, mivel a műveleti részvétel mellett a hazai békeidős feladatokat is maradéktalanul biztosítani kell.

Mindezek tükrében (valamint a KAIA hazai működtetésének pozitív nemzetközi visszajelzései alapján) két fontos következtetés vonható le:

- A nemzeti felajánlásoknak minden esetben a hazai békeidős feladatok ellátása hatékonyságának megtartása mellett kell megszületniük, és
- A hazai ATM képességeket oly módon kell fejleszteni, hogy a rendelkezésre álló erők és eszközök a hazai békeidős alkalmazás mellett kellő tartalékot biztosítsanak a telepíthető ATM műveletekben való nemzeti részvételre.

A Komponens kialakítására vonatkozó összesen hét alternatíva (modell) került kidolgozásra, melyek az alábbiak:

- A feladatban minden nemzet részt vállal, és a Komponens nemzeti erőforrásokra támaszkodik.
- A feladatban csak azok a nemzetek vesznek részt melyeknek szándékában áll a részvétel, és a Komponens nemzeti erőforrásokra támaszkodik.
- A feladatban csak azok a nemzetek vesznek részt melyeknek szándékában áll a részvétel, és a Komponens közös NATO erőforrásokra támaszkodik.
- A feladatban minden nemzet részt vállal, és a Komponens közös NATO erőforrásokra támaszkodik.
- A feladatban minden nemzet részt vállal, és a Komponens közös NATO, illetve nemzeti erőforrásokra is támaszkodik.
- A feladatban csak azok a nemzetek vesznek részt, melyeknek szándékában áll a észvétel, és a Komponens közös NATO, illetve nemzeti erőforrásokra is támaszkodik.
- A feladatban csak azok a nemzetek vesznek részt melyeknek szándékában áll a részvétel, a Komponens elsősorban nemzeti erőforrásokra támaszkodik, és csak akkor vesz igénybe közös NATO erőforrásokat, ha az feltétlenül szükséges.

Az alternatívák megfogalmazása során az alábbi követelményeket vették figyelembe:

- Minden alternatívának meg kell felelnie a Komponenssel szemben korábban megfogalmazott követelményeknek.
- Az alternatívák egy általános módszert, és nem eseti megoldásokat kell alkalmazzanak.
- A NATO parancsnoki rendszerén belül egy olyan irányító szervre van szükség, ami támogatja a Komponens szervezését, és működését.
- A Komponensnek erősítenie kell a NATO Reagáló Erőket (NRF).
- A Komponensnek ki kell bővítenie a Telepíthető Légivezetési és Irányítási Rendszer Komponens ATM képességeit.

– Két- és többoldalú egyezményeken keresztül figyelembe kell venni a nem- NATO országok közreműködését is.

A Komponens működése az alábbi kilenc fő ATM vonatkozású működési területet takarja:

– Repülőtéri szolgálatok;
– Repülőtéri és eljárás szerint működő bevezető légiforgalmi irányító szolgálat;
– Bevezető és leszállító radar légiforgalmi irányító szolgálat;
– Légiforgalmi tájékoztató szolgálat, beleértve az eljárástervező szolgálatot;
– Navigációs és híradó szolgálat;
– Meteorológiai szolgálat, beleértve a madárveszély elhárítást is;
– Tűzoltó és hó eltakarító szolgálat;
– Földi kiszolgálás;
– Repülőtér üzemeltető és karbantartó szolgálatok.

A különféle szolgálati ágak összehangolhatósága érdekében szükségessé vált a feladatban részt vevő szakszemélyzetek felkészítésére vonatkozó közös nyelvi és szakmai követelmények kialakítása és alkalmazása. A követelményeket tartalmazó STANAG-ek kidolgozását, illetve a már kidolgozott anyagok módosítását a NATO szabványosítási szervezete megkezdte.

Az Észak Atlanti Tanács 2006 májusában elfogadta a NATMC fenti elemeket is tartalmazó jelentését, és döntése alapján megalakult a NATO Telepíthető ATM Komponens koncepció magvalósulását felügyelő irányító bizottság, a DATMC *(Deployable ATM Componen Steering Group)*. A bizottság első ülését 2006. szeptember 13-án tartotta. A hét tagállam által biztosított képviselőkből álló bizottság a 2006. október 5-én jóváhagyott munkarend szerint havonta egy alkalommal ülésezik és fő feladata a koncepció megvalósításával összefüggő alternatívák meghatározása, illetve a kidolgozott javaslatok jóváhagyása céljából a NATMC részére történő fejlesztése.

A MAGYAR HONVÉDSÉG NATO TELEPÍTHETŐ ATM KOMPONENSBE DELEGÁLHATÓ ERŐINEK LEHETŐSÉGEI

A fent jelzett, a KAIA vezető nemzeti misszióban résztvevő szolgálati elemeken túl a telepíthető ATM képesség keretében az alábbi erők felajánlása ajánlott a hazai képességeink figyelembe vétele alapján:

A légiforgalmi irányító szolgálatok

Ezen szolgálatok tekintetében, legyen az repülőtéri, közelkörzeti vagy bevezető radarirányító szolgálat, figyelembe kell venni az állomány kiválasztásánál a személyek szakmai tapasztalatát, képesítését és jogosítását. Természetesen a nemzeti szakszolgálati engedély megléte alapfeltétel,

amely a NKH *(Nemzeti Közlekedési Hatóság)* által elismert megfelelő szintű elméleti és gyakorlati felkészítéssel párosul.

A közeljövőben elfogadásra kerülő, a katonai légiforgalmi szolgálatokra vonatkozó jelenleg hatályos az állami célú légiközlekedés szakszemélyzetének szakszolgálati engedélyeiről szóló *16/1998. (X. 28.) HM-EüM rendeletet* felváltó új jogszabály már összhangban van a MH által szintén ratifikált, és a tervek szerint 2011. január 01-étől alkalmazott, *NATO Minimum Requirements For Personnel Providing Air Traffic Services (ATS) in a NATO-led Operations* STANAG 7204 szövetségi szabályozóval. Az említett STANAG a légiforgalom irányító szolgálatok minimum követelményeit határozza meg a NATO által vezetett műveletekben, és összhangban az *ICAO Annex 1 Personal Licensing* dokumentumban, a szakszolgálati engedélyek megszerzésére irányuló követelményeket taglalja, annak érdekében, hogy egy többnemzetiségű szerepvállalás esetén a szolgálatot teljesítő személyek szakmai és nyelvi ismerete azonos szinten legyen. A légiforgalmi irányítók esetében a szakszolgálati engedély megszerzéséhez ez a nyelvi követelmény minimum 4-es szinten került meghatározásra.

Ez olyan operatív nyelvtudást jelent, mely mind kiejtésében, mind a nyelv megértésében nem befolyásolja az első nyelv vagy tájnyelv, de az akcentussal beszélő személyzeteket is gond nélkül képes megérteni, szokatlan körülmények esetén is kreatívan képes alkalmazni nyelvtudását. Szükséges töltelékszavak és mondatkötő elemek használatával.

Válaszai azonnal érthetőek, informatívak még akkor is ha váratlan helyzetben találja magát és így megfelelő módon tudja kezelni és javítani a félreértéseket.

Az állomány felkészítése és vizsgáztatása azonban még nem rendezett. Természetesen a szervezett nyelvtanfolyamok lehetőséget biztosítanak a nyelvtudás szinten tartására, de nem mondhatóak igazán szakmai irányultságúnak és emellett a szolgálatból való kieséssel is együtt járnak, mely a jelenlegi létszámadatok tükrében jelentős leterheltséget okoz a katonai légiforgalmi irányító szolgálatoknál. A kellő szakmai jártasság fenntartása mellett azonban a nyelvtudást is szinten kell tartani. A jártasságok fenntartását egyrészt az effektív munka, amelyet a repülőterekhez kötődő forgalom sűrűsége nagymértékben meghatároz, másrészt a rendszeres gyakorisággal szervezett néhány hetes szimulációs tréningek biztosítják. Ezen tanfolyamok a radarszimulációk tekintetében egy saját repülőtérre kidolgozott komplex gyakorlatsor levezetésével, repülőtéri (torony) irányítók szempontjából pedig általában, a már jól bevált, Kabul Nemzetközi repülőteret és környezetét megjelenítő terepasztalon és az arra kidolgozott különböző nehézségi szintű gyakorlatok alkalmával lehet hatékonyan gyakoroltatni, melyet a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Repülő és Légvédelmi Intézet Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék állománya végez a megrendelő ÖHP kérésére meghatározott alkalmanként. A repülőtéri irányítás szimulációs lehetőségeinek fejlesztésével összefüggésben jelentős előrelépésnek mutatkozik, hogy a Magyar Honvédség légiforgalom-szervezési rendszerének korszerűsítését előirányzó MANS 2010+ program keretében tárgyalások

kezdődtek a HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt.-vel az általuk rendszeresített háromdimenziós toronyszimulátor katonai repülőterekre vonatkozó felhasználásának tárgyában.

Mindezek a szimulációs gyakorlatok irányított óraszám és bevezetésszám tekintetében elkönyvelhetőek az irányítók kötelezően vezetendő dokumentációjában. Az előzőekben említett nyelvi készségek meglétét eddig a szakszolgálati engedély mellé járó rádiótávbeszélő-használói (fónia) vizsgát igazoló hatósági engedély biztosította, ami azonban nem ad garanciát arra, hogy a nyelvi ismereteket folyamatosan fenntartsák, illetve mérjék. Ahhoz, hogy a hamarosan elfogadásra kerülő szakszolgálati engedélyekről szóló miniszteri rendelet ezen pontjának is eleget lehessen tenni, biztosítani kell az állomány szakmai irányultságú nyelvtudásának szinten tartását, melyhez célszerű egy belső hálózaton vagy interneten elérhető oldal létrehozása. E rendszerben a jogosultak regisztráció alapján férhetnének hozzá a feladatokhoz és az elérendő nyelvi szint függvényében oldhatnának meg feladatsorokat, teszteket, melyek a várható vizsgafeladatokkal összhangban kerülnek összeállításra. Egy ilyen megoldás nem csak az légiforgalmi irányítók, de más szakszolgálati engedélyhez kötött szolgálatok nyelvi felkészültségét is segíthetné.

Természetesen egy NATO Mobil ATM Komponens légiforgalmi irányítói modult tekintve a jól felkészült szolgálati személyeken kívül munkájukhoz elengedhetetlenül szükséges eszközök és berendezések is kellenek. A hazai szabályzók szerint az állami repülések céljára kijelölt légterekben végrehajtott repülések szabályairól szóló *3/2006. (II. 2.) HM rendelet* tartalmazza mindazon eszközszükségletet mely egy légiforgalmi irányító munkahelyen meg kell, legyen.

Mindezen eszközök közül, néhány telepíthető és egy esetleges felajánlásban is biztosítható, így egy hadműveleti repülőtér repüléseinek kiszolgálásához szóba jöhetnek a következők:

- GPS alapú időmérő eszköz;
- A kétoldalú rádió-összeköttetés biztosítására olyan teljesítményű és frekvenciatartományú rádió berendezés, mely a felelősségi körzetben biztosítja a folyamatos összeköttetést az ott tartózkodó légijárművekkel (telepíthető R-863, Rhode-schwarz rádiók) és egyben alkalmasak a vészfrekvenciák figyelésére is;
- Kommunikációs eszközök melyek a szolgálati egységek, műveleti és kényszerhelyzeti szolgálatok közötti szünetmentes és folyamatos forgalmazást biztosítják (Motorolla EDR);
- Kézi fényjelző készülék (fénypuska, pirotechnikai eszközök), melyek a fényjelzéssel történő utasítások kiadására alkalmasak;
- Repülések nyilvántartására alkalmazott repülés-nyilvántartó szalag *(Flight Progress Strip),* ezek nyilvántartásához szükséges számítógép, melyen egy Microsoft Office, Excel táblázat egyes munkafüzetein megjelenítésre és nyilvántartásra kerülhet a napi forgalom, érkező-, induló-, átrepülő valamint annak tervezéséhez, az előzetes igények alapján elkészített forgalmi adatok *(Flowchart)* vagy menetrend. Ezek alapján a strippek könnyebben kezelhetőek, azonnal nyomtathatóak és elektronikus formában is megőrizhetőek;

– Valamint a szünetmentes üzemet biztosító, már Irakban is használt, Kirsh gázolajjal működő aggregátor.

Repüléstájékoztató szolgálat

A Magyar Honvédség Összhaderőnemi Parancsnokság alárendeltségében már néhány évvel ezelőtt megkezdte működését az ICAO szabványok szerint működő Katonai Repüléstájékoztató szolgálat (*MILAIS-Military Aeronautical Information Service)*, melynek feladata a légi közlekedés biztonsága, hatékonysága és rendszeressége érdekében a légi forgalom számára rendelkezésre álló légterekről és repülőterekről megfelelően strukturált, időbeni, pontos, teljes és megbízható információk szolgáltatása.

Velük szoros együttműködésben dolgoznak a katonai repülőtereken települő repülésbejelentő irodák *(MILARO-Military Aeronautical Reporting Office),* melyek az állami légijárművekhez, azok repüléseihez valamint az állami repülőterekhez kötődő adatokkal és információkkal látják el az elöljáró szervezetet és a repülésben részt vevő személyzeteket. Az itt szolgálatot teljesítő állomány képzése hatékony civil és katonai együttműködés útján történik, annak érdekében, hogy a közeljövőben szakszolgálati engedély köteles beosztást ellátó személyek felkészültsége megfelelő legyen. Képzésükben előrelépést jelentett a EUROCONTROL szakirányú tanfolyamain való részvétel, mely rálátást adott az európai légtérben zajló áramlásszervezési feladatok fontosságára, nem kisebbítve ezzel a katonai repülésekhez kötődő információs szolgálatok felelősségét. Ez azért is fontos mert a MILAIP *(Military Aeronautical Information Publication)* megjelenésével teljes körű és naprakész információk kerülnek kiadásra, melyek összeállításához a szakmai tudás nélkülözhetetlen. A szakszemélyzetek munkájuk során közvetlen kapcsolatban vannak a budapesti áramlásszervező központtal, de adott esetben az eithoveni ISAF és egyéb katonai repüléseket koordináló központtal is, így az angol nyelv megfelelő ismerete ezen beosztások ellátásához is nélkülözhetetlen.

A meteorológiai szolgálat

A meteorológiai szolgálat szolgálati személyei már szintén érintettek az új szakszolgálati engedélyekről szóló rendeletben. Az eddigiekben szakmai tudásukat és annak szinten tartását az osztályba soroló vizsgákon mérték, képzésük, ami az észlelő állományt illeti, a repülőtereken települő szolgálatok kiképzési terve alapján történt, az asszisztensek kiképzését az OMSZ (Országos Meteorológiai Szolgálat) végezte egy néhány hónapos tanfolyam keretében, a meteorológus tisztek pedig szakirányú egyetemi végzettséggel tölthetik be a beosztásukat.

Az asszisztensek szakmai továbbképzésének területén új színfoltként jelentkezett a ZMNE RLI Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék által szervezett négy hetes szakmai tanfolyam, melynek keretében a korszerű meteorológiai távérzékelési produktumokkal és ezek előrejelzésben történő alkalmazásával ismerkedtek meg a hallgatók. Ilyen és hasonló jellegű képzések felkészíthetik az adott (felajánlásra kerülő)állományt, más, a kontinentális éghajlati körülményektől eltérő időjárási viszonyokra, melyekkel az adott hadműveleti terület repülőterein találkozhatnak. Nemcsak az időjárási körülmények, de a használatos munkaeszközeik is különbözhetnek az itthoniaktól, például a

hadműveleti repülőtereken is alkalmazásra kerülő meteorológiai ballonok, melyeket Magyarországon csak az OMSZ használ. Az ilyen ballonok lehetnek héliummal, de adott esetben hidrogén gázzal vannak töltve, utóbbi már különleges kezelést igényel, hiszen használata nagyobb veszélyt hordoz magában. Az így szerzett meteorológiai adatok és mérések mellett, más eszközök is segítik a munkájukat. Ilyen a már Afganisztánban is alkalmazásra kerülő TACMET, mely az adott magasságban képes mérni a légnyomás, hőmérséklet, relatív nedvesség, látástávolság, szélirány és sebesség adatokat. Más források is rendelkezésre állhatnak ahhoz, hogy a szolgálat biztosítani tudja a pontos előrejelzéseket. Ilyen lehet az eddig közvetlen műholdas kapcsolattal, most már csak vonalas úton működő NAMIS elérhetőség, mely egy NATO által létrehozott meteorológiai adatbázis, de műholdas internetes kapcsolat és így esetlegesen védett web oldalakról származó egyéb időjárási produktumok beszerzésével a meteorológiai szolgáltatás magas színvonalúvá tehető. Természetesen a szolgálat mérései, dokumentálhatóak és visszakereshetőek kell, hogy legyenek, mely itt is megfelelő számítógépes hátteret feltételez. A megfelelő szaktudás mellett az angol nyelv ismerete itt is elengedhetetlen.

Földi repülésirányító eszközök

Jelenleg a Magyar Honvédségben rendszeresített repülésirányító eszközök a repülőgépek és helikopteretek repüléséhez és harci irányításához információt biztosító és továbbító, – híradó és informatikai szolgálat szervezetében és üzemeltetésében lévő, - különböző típusú földi és légi telepítésű rendszerek, szervezetek melyek a hozzájuk kapcsolódó feladatkörök megjelölésére szolgálnak.

Ezen eszközök nagy része repülőterekhez kötődő telepített rádiólokációs, navigációs valamint fénytechnikai berendezés, melyek biztosítják a repülőtereinken az ICAO szabvány indulási és műszeres megközelítési eljárások tervezését és kivitelezését. A repülőtereken történt modernizálás eredményeképpen rádiólokációs és híradó eszközök kerültek beszerzésre, valamint ILS műszeres leszállító rendszer is rendelkezésre áll a pápai valamint a kecskeméti betonra történő landoláshoz. A fejlesztési program keretében megkezdődött a már kiszolgált- R-863-as rádiók cseréje, a kor követelményinek megfelelő Rhode Swarcz rádiókra, mely a beszédátvitelen kívül alkalmas az adatátvitelre és a szoftveres titkosításra is. Egy repülőtér kiszolgálásához szükséges technikai háttér üzemének folyamatossága érdekében szükséges a szünetmentes áram biztosítása, melyet Szolnok repülőtér egy mobil eszközként is telepíthető Kirsc típusú aggregátorral oldott meg.

A mobil eszközök tekintetében, szintén a fent említett repülőtér és az ott települő helikopterek feladataihoz kötődő telepíthető berendezéseket lehet megemlíteni. Ilyen a HEL/G helikopter leszállító rádió és fénytechnikai állomás és a fénytechnikai kiszolgálást biztosító Szvetluska telepíthető fénytechnikai berendezés. Ezen berendezések modernizálására javaslatok kerültek kidolgozásra, első lépésként az üzemüket biztosító aggregátorok, rádiók és azok adatrögzítése terén. Ezen eszközök feladatukból adódóan, azonban nem alkalmasak egy forgalmas repülőtér kiszolgálására.

BEFEJEZÉS

A NATO elgondolás alapján egy hadműveleti repülőtér üzemeltetésében több nemzet összefogása szükséges, mind a technikai mind az kiszolgáló állomány tekintetében. Ezt mi sem bizonyítja jobban, mint a – már magyar vezetéssel is működő- Kabul Nemzetközi repülőtér sikeres üzemeltetése.

A magyar szerepvállalás sikere így joggal ad felhatalmazást, egy következő vezető nemzeti feladat elfogadására és megszervezésére. Ezúttal azonban a megszerzett ismeretek és tapasztalatok birtokában tevékenykedhet a kijelölt állomány. A megszerzett tapasztalatok természetesen az állomány képzése és felkészítése során is kamatoztatható és más nemzetek hasonló irányú felkészítéséhez felajánlhatók.

A hazai jogszabályi háttér összhangban van a NATO ide vonatkozó előírásaival, így lehetőséget ad arra, hogy a Magyar Honvédség kiképzett és tapasztalt szakemberekkel részt vegyen egy ilyen jellegű hadműveleti feladatokban.

A technikai eszközök felajánlásának lehetősége azonban eléggé korlátozott. Amennyiben a felajánlás e szegmensének is meg kívánunk felelni, érdemes átgondolni a beszerzés lehetőségét. Egy repülőtér üzemeltetéséhez így szükséges –a nagyobb befektetést jelentő– telepíthető radar, legalább CAT I. biztosító fénytechnikai rendszer, a szünetmentes szolgáltatáshoz megfelelő aggregátor, telepíthető navigációs berendezés (TACAN, VOR), valamint legalább négy készlet rádió. Egy ilyen jellegű befektetés megtérülése nemcsak egy jövőbeni missziós felajánlás sikerében mérhető, de ezek az eszközök a hazai repülőterek üzemeltetésében is alkalmazhatóak tartalékkészletként.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] A Magyar Honvédség telepíthető légiforgalom- szervezési képessége kialakításának és alkalmazásának lehetőségei a vezetés és irányítás rendszerében- Somosi Vilmos mk.szds- Pál László szds. www.hm.gov.hu/files/9/4458/segedlet.pdf

[2] STANAG 7204 NATO Minimum Requirement's for personnel providing ATS in NATO led missions, https://nsa.nato.int/protected/STRAP/stanagdetails.html?STANAGNo=7584&LA=EN

[3] 3/ 2006 HM rendelet az állami repülések céljára kijelölt légterekben történő repülések végrehajtásáról, http://www.complex.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0600003.HM

[4] ICAO Annex 11 Air Traffic Services,

[5] MH KAIA TTCS feladatai - úti jelentés Varga Csaba ezredes

Veress Árpád – Gallina Tibor – Rohács József

SÚRLÓDÁSMENTES KÖZEG NUMERIKUS ÁRAMLÁSTANI MODELLEZÉSE ÉS ÉRVÉNYESÍTÉSE

ÖSSZEFOGLALÁS

A publikáció célja egy 2 dimenziós, az összenyomható áramlás modellezésére alkalmas, kis számítógépi kapacitásigénnyel rendelkező program felépítésének, működésének és érvényesítésének bemutatása.

Az implementált algoritmus az összenyomható közegre vonatkozó Euler egyenletek konzervatív alakjára épül. A diszkretizáció alapja egy strukturált, cella középpontú véges térfogat módszer, amelyet objektum orientált C++ környezetben valósítottunk meg. A konvektív tagok térbeli diszkretizálására az úgy nevezett Roe által közelített Riemann megoldót implementáltuk. A térbeli diszkretizáció rendjének növelése az MUSCL (Monotone Upstream Schemes for Conservation Laws) eljárás, a monotonitás megőrzése MinMod típusú határoló segítségével történt. Az algebrai egyenletek megoldására egy negyedrendű Runge-Kutta eljárást alkalmaztunk. A peremfeltételek meghatározása a karakterisztikák módszerével történt a belépő és a kilépő peremen. A szilárd fal peremek esetén a „rugalmas fal” típusú megoldást alkalmaztuk a szoftver számítási sebességének növelése érdekében. Az eljárás leginkább a repülőgép ipar és az áramlástani gépek tervezése szempontjából lehet fontos, ezért az Euler megoldó validációját egy NACA 65-410 típusú szárny profil körüli, és az ugyan ezen profil segítségével kialakított lapátrácsban kialakult áramlásra végeztük el.

JELÖLÉSJEGYZÉK

Latin betűk, jelölések:

- A: F fluxus-vektor Jacobi-féle mátrixa;
- C: $\vec{H}$ fluxus-vektor Jacobi-féle mátrixa;
- C_p: állandó nyomáson vett fajhő [J/(kgK)];
- C_p: nyomástényező;
- C_v: állandó térfogaton vett fajhő [J/(kgK)];
- c: hangsebesség [m/s];
- c: húrhossz [m];
- E: torlóponti energia [J/kg];

- e: statikus energia [J/kg];
- $\vec{e}_x$: x irányú egységvektor;
- $\vec{e}_y$: y irányú egységvektor;
- F: konvektív fluxusvektor (x komponens);
- G: konvektív fluxusvektor (y komponens);
- $\vec{H}$: Euler-egyenlet teljes fluxusvektora;
- $\widetilde{H}$: numerikus fluxus-függvény;
- H: torlóponti entalpia [J/kg];
- k: merevségi tényező;
- L: C mátrix bal oldali sajátvektor mátrixa;
- M: Mach-szám;
- N_p: a számítási tér összes pontjainak száma [db];
- N_f: az ellenőrző térfogatot határoló oldalak száma [db];
- n: normális irány;
- $\vec{n}$: kifelé mutató normál egységvektor (n_x, n_y) komponensekkel;
- q_1: dinamikus nyomás a távoli rááramlásban [Pa];
- p: statikus nyomás [Pa];
- p^{to}: torlóponti nyomás [Pa];
- $r_n^{(i)}$: jobboldali normális irányú sajátvektorok;
- R: C mátrix jobb oldali sajátvektor mátrixa;
- R: specifikus gázállandó (levegőre: 287,2 [J/(kgK]);
- $\Re$: reziduum;
- Re: Reynolds-szám;
- $\vec{s}$: $\vec{n}$-ra merőleges, vele jobbrendszert alkotó egységvektor;
- t: idő [s];
- T: statikus hőmérséklet [K];
- T^{to}: torlóponti hőmérséklet [K];
- U: konzervatív változók vektora;
- u: x irányú sebességkomponens [m/s];
- $\vec{V}$: sebességvektor (u, v, w) komponensekkel [m/s];
- V: abszolút sebesség nagysága [m/s];

- v: y irányú sebességkomponens [m/s];
- W: karakterisztikus változók vektora;
- w: z irányú sebességkomponens [m/s];
- x,y,z: Descartes-féle térbeli változók;

Görög betűk, jelölések:

- α: sebességvektor iránya [°];
- α: csillapítási tényező;
- α_k: Runge-Kutta együttható;
- β: kompressziós paraméter, konstans;
- β_l: áramlás szöge [°] (tengelytől mérve);
- Δ: két állapot közötti eltérés;
- ε: stabilizáló tag hangoló paramétere;
- Γ: Ω ellenőrzőfelületet határoló oldalfal-hossz [m];
- γ: fajhőviszony;
- κ: rekonstrukciós paraméter;
- λ: C Jacobi-féle mátrix sajátértéke;
- Λ: sajátérték mátrix;
- μ: súlyozó paraméter;
- ρ: sűrűség [kg/m^3];
- τ: súlyozó-paraméter;
- χ: Roe által átlagolt sűrűség;
- Ω: ellenőrző felület [m^2];

Indexek:

- $\underline{\ }$: statikus állapotjelzők;
- $\bar{\ }$: vektormennyiség;
- $\hat{\ }$: Roe-féle paramétervektor-elem;
- *: referencia állapot;
- +: pozitív (pl. sajátérték);
- -: negatív (pl. sajátérték);

- *1*: számítási térből extrapolálva, rááramlási paraméter;
- *L*: bal oldala a cellafalnak;
- *i,j*: térbeli indexek;
- *in*: bemenet (input);
- *l*: lokális;
- *n*: $\vec{n}$ irányában;
- *n*: időbeli index;
- *out*: kimenet (output);
- *R*: jobb oldala a cellafalnak;
- *R,B,S:* múlt, jelen és jövő (paraméterek a peremen);
- *S*: a következő időlépéshez tartozó, a peremen érvényes paraméter;
- *s*: $\vec{s}$ irányában;
- *st*: statikus állapotjelzők;
- *to*: torlóponti állapotjelzők;

Rövidítések:

- BC: Boundary Condition (peremfeltétel);
- CFL: Courant szám;
- CFD: Computational Fluid Dynamics;
- DNS: Direkt Numerikus Szimuláció
- ENO: Essentially Non-Oscillatory (schemes);
- LE, le: belépőél (Leading Edge);
- MUSCL: Mon. Upstream Schemes for Con. Laws;
- Re: Reynolds szám;
- TE, te: kilépőél (Trailing Edge);
- TVD: Total Variation Diminishing;

BEVEZETÉS

A mérnöki tervezés két alapvető eszköze a tervezés és a vizsgálat. E két eljárás kombinációja adja a tervezési folyamat iteratív jellegét. Az áramlás számítógépes modellezése kezdetben elsősorban az analízist, vagyis a vizsgálatot segítette oly módon, hogy alkalmazásával a mérések száma volt csökkenthető, így a tervezés költségei is jelentősen csökkentek. A számítási teljesítmény növekedésével azonban a numerikus

áramlástan a tervezés és az optimalizálás folyamatában is egyre nagyobb szerepet kapott, hiszen a fizikai valósággal ellentétben, a virtuális világban a geometria paraméterek egyszerűen módosíthatók. Ez jelentősen hozzájárul a mérnöki gyakorlatban alkalmazható optimalizációs algoritmusok terjedéséhez, melyek a költségcsökkentésen kívül kedvező hatással vannak a kapacitásra és a munkaidőre is. A számításokhoz szükséges idő – tekintettel a nagy számú paraméterre – azonban még a szuperszámítógépek alkalmazásával is a költséghatékonyság csökkenéséhez vezethet, ezért e munka elsődleges célja egy olyan számítási eljárás implementálása, mely segítségével javulás érhető el az explicit módszert alkalmazó numerikus áramlástani számítások területén.

NUMERIKUS MÓDSZER

A súrlódásmentes ideális áramlás feltételezésével élve a Navier-Stokes-egyenletek a viszkózus és a hővezetési tagok elhanyagolásával az Euler-egyenletekre vezethetők vissza, amelyek az áramlásban megjelenő diszkontinuitások – lökéshullámok, kontakt- és az örvényfelületek – kezelhetősége szempontjából a nem viszkózus áramlás legmagasabb fokú approximációját jelentik. Az Euler-egyenletek elsősorban a határrétegen kívüli és a nagy Reynolds-számú leválás nélküli összenyomható áramlás modellezésére alkalmasak. Mivel napjaink ipari-áramlástani folyamataiban lezajló folyamatokra a nagy Reynolds-szám jellemző, ezért ebből a szempontból az Euler-egyenletek alkalmazása áramló közegek modellezésére jó közelítésnek tűnik. A különféle numerikus módszerek tekintetében a viszkózus és a nem viszkózus áramlásmodellek esetén az elvégzendő műveletek száma ez utóbbi esetben a turbulencia modellek hiánya miatt kisebb, így a számításhoz szükséges gépidő is rövidebb. Másrészt, a legtöbb komplex 3D-s áramlás, a megfelelő szimmetria-feltételek, illetve közelítések figyelembevételével, visszavezethető 2D-s folyamatokra. Az Euler-egyenletek esetén pl. a határréteg és ezáltal a szekunder-áramlások modellezésének hiánya miatt például a 2, illetve a 3D-s eredmények közötti eltérés kisebb, mint a viszkózus áramlásmodellezések esetén. Mindezek figyelembevételével – elsősorban az előtervezési folyamatok lerövidítésének érdekében – a kisebb gépidő-igény jól kompenzálhatja a legnagyobb approximációs fokú 2D-s ideális áramlástani modellekben rejlő közelítést.

Az Euler egyenletek egy olyan nem lineáris parciális differenciálegyenlet rendszert foglalnak magukba, melynek komplexitásuk miatt, napjainkig nem létezik általános érvényű zárt alakú megoldása, ezért a különféle áramlástani-mérnöki problémák megoldása során hathatós segítséget nyújtanak az áramlástan numerikus módszerei. A különféle eljárások alkalmazásakor, a megfelelő pontosság biztosítása mellett, az alapegyenletekben szereplő áramlástani paraméterek a zárt alakú folytonos megoldás helyett, diszkrét értékekkel helyettesíthetők. Ezért, először a folytonos számítási tartomány véges számú diszkrét felosztását, a hálózást kell elvégezni. A háló pontjainak segítségével határozhatók meg az áramlástani paraméterek. A differenciál vagy integrál formában felírt

alapegyenletek a diszkretizálást követően kerülnek a számítógép által jól kezelhető alakra. A lineáris vagy nem lineáris algebrai egyenletek azonban a kiinduló egyenletek meghatározott fokú approximációját is jelentik. A folytonosról diszkrét alakra történő átalakítás során, általában, egy adott pont körüli Taylor-sorba fejtés maradék tagjának segítségével állapítható meg a közelítés rendje. A hálóméret nullához tartása esetén a numerikus diszkretizáció hibájának is a zérushoz kell tartania, a sebessége, pedig arányos a diszkretizáció approximációjának rendjével. Az eredmények pontosságát a hálózás minősége, homogenitása is jelentős mértékben befolyásolja. A különféle diszkretizációs technikák három főbb csoportba oszthatók: a véges differenciák módszere, a véges elemek módszere és a véges térfogat módszere. Napjainkban a véges térfogat módszer a legelterjedtebb a numerikus áramlástan ipari alkalmazásaiban, mert magába foglalja a végeselemes módszer geometriai és a véges differenciák diszkretizálási flexibilitását mérsékelt memóriaigénnyel, ezért ebben a munkában is ezt a közelítést alkalmaztuk.

Alapegyenletek

A Navier-Stokes egyenletrendszerből a viszkózus és hővezetési tagok elhanyagolásával állítható elő az Euler-egyenlet rendszer, ami súrlódásmentes áramlást leíró legáltalánosabb differenciálegyenlet-rendszer. Ez az egyenletrendszer két dimenzióban, konzervatív alakban, időfüggő formában, tehetetlenségi erők és belső hőforrás nélkül, összenyomható áramlásra és a Descartes-féle koordináta rendszerben a következő formában írható fel [5],

$$\frac{\partial U}{\partial t}+\frac{\partial F(U)}{\partial x}+\frac{\partial G(U)}{\partial y}=0\,, \tag{1}$$

ahol a konzervatív változók és a konvektív tagok vektora,

$$U=\begin{pmatrix}\rho\\ \rho u\\ \rho v\\ \rho E\end{pmatrix},\quad F(U)=\begin{pmatrix}\rho u\\ \rho u^2+p\\ \rho uv\\ \rho uH\end{pmatrix},\quad G(U)=\begin{pmatrix}\rho v\\ \rho vu\\ \rho v^2+p\\ \rho vH\end{pmatrix}. \tag{2}$$

A torlóponti energia és entalpia a következő formában írható fel,

$$E=\frac{1}{\gamma-1}\frac{p}{\rho}+\frac{u^2+v^2}{2},\quad H=\frac{\gamma}{\gamma-1}\frac{p}{\rho}+\frac{u^2+v^2}{2}\,. \tag{3}$$

A térbeli diszkretizációs módszer

A véges térfogatok módszere az alapegyenletek integrálása után megjelenő kifejezések diszkretizálásán alapszik. Az (1) egyenlet összevonását, integrálását és a Gauss–Osztrogradszkij tétel alkalmazását követően, a Γ -val határolt Ω tartomány felett a következő formában írható fel,

$$\frac{\partial}{\partial t}\iint_{\Omega} U d\Omega + \int_{\Gamma} \vec{H}\vec{n} d\Gamma = 0 . \tag{4}$$

A kontúrintegrált a $\vec{H}$ fluxusok felületelemre merőleges komponenseivel egyszerűbb meghatározni, mint a koordinátarendszer irányai szerinti összetevők segítségével, ezért ezt a közelítést alkalmaztuk. A teljes fluxus $\vec{n}$ irányba eső komponense a következő alakban írható fel,

$$H_n = \vec{H}\vec{n} = \begin{pmatrix} \rho V_n \\ \rho u V_n + p n_x \\ \rho v V_n + p n_y \\ \rho V_n H \end{pmatrix}, \tag{5}$$

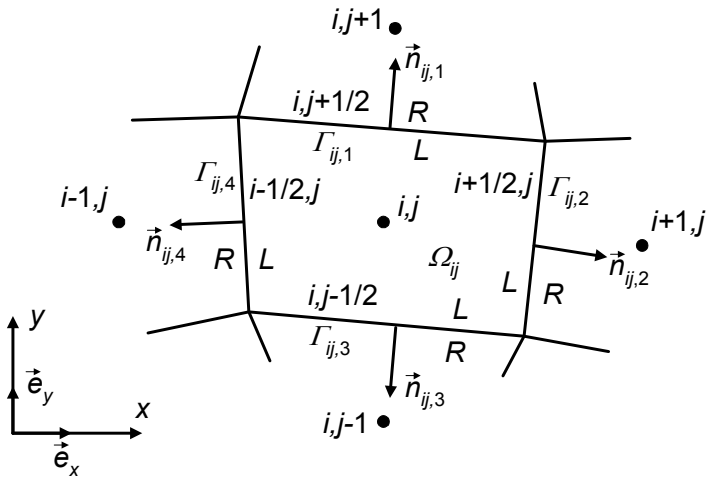
melyben V_n $\left(V_n = \vec{V}\vec{n} = \left(u\vec{e}_x + v\vec{e}_y\right)\left(n_x\vec{e}_x + n_y\vec{e}_y\right) = un_x + vn_y\right)$ a cellafalra normális irányú sebességkomponens. Ezek után (4) egyenlet a következő formát ölti,

$$\frac{\partial}{\partial t}\iint_{\Omega} U d\Omega + \int_{\Gamma} H_n d\Gamma = 0 . \tag{6}$$

A folytonosról a diszkrét alakra történő átalakítás során a véges térfogat feletti U megoldásfüggvény az U_j diszkrét ismeretlennel közelíthető,

$$U_j = \frac{1}{\Omega_j}\iint_{\Omega} U d\Omega , \tag{7}$$

amely a cella központú megközelítésnek felel meg. Ezért, az ismeretlen U megoldásvektor inkább értelmezhető az Ω ellenőrző felület feletti középértéknek, mintsem egy csomóponti függvényértéknek, amely a cella csomóponti közelítés jellemző paramétere. A Ω_j ellenőrző felület



1. ábra. Cella központú véges térfogat háló modell

N_f számú kontúrjára elvégzendő összeggel helyettesítve a (6) egyenletbeli második integrált, a következő j pont körüli szemi-diszkretizált differenciálegyenletre vezethető vissza,

$$\frac{\partial}{\partial t}U_j = -\frac{1}{\Omega_j}\sum_{k=1}^{N_f}\left[H_n\right]_{j,k}\Gamma_{j,k}, \tag{8}$$

amelyben $\left[H_n\right]_{j,k}$ az Ω_j ellenőrzőfelülethez tartozó, a j és k csomópontok között elhelyezkedő, a $\Gamma_{j,k}$ oldalhosszra jellemző konvektív fluxus (1. ábra) és az elkövetkezendőkben, mint numerikus fluxus függvény fog szerepelni. Előállítása alapvetően meghatározza a séma tulajdonságait.

Az áramlásirányú (un. upwind) módszerek esetén, az oszcillációs jelenségek elkerülése érdekében nincs szükség új egyenletbeli tagok hozzáadására, mivel a numerikus fluxusok az áramlás irányának, vagyis a karakterisztikus görbék meredekségének (a fizikai információterjedés irányának) megfelelően vannak szétválasztva. Legyenek az

$$U^L = U_{i,j} \text{ és}$$
$$U^R = U_{i+1,j} \tag{9}$$

(i,j), valamint a $(i+1,j)$ szomszédos cellákra jellemző konzervatív állapotjelzők, amelyeket az $(i+1/2,j)$ cellahatár választ el egymástól. Az $\vec{n}$ irányba levetített, a teljes fluxus konzervatív változók szerinti deriváltja, a C_n mátrix a következőképpen írható fel,

$$C_n = \frac{\partial H_n}{\partial U}. \tag{10}$$

Az áramlási irány szerint differenciált (upwind) sémák numerikus fluxus-függvényei a következőképpen definiálhatók,

$$\tilde{H}_n\left(U^L,U^R\right) = H_n\left(U^L\right), \text{ ha } \lambda^{(\alpha)} > 0 \text{ és} \tag{11}$$

$$\tilde{H}_n\left(U^L,U^R\right) = H_n\left(U^R\right), \text{ ha } \lambda^{(\alpha)} < 0, \tag{12}$$

amelyben $\lambda^{(\alpha)}$ a C_n mátrix sajátértéke. A fenti feltétel a hangsebesség feletti áramlás esetén azt a fizikai jelenséget modellezi, miszerint nincs információterjedés az áramlással ellentétes irányba. Tetszőleges, U^L és U^R paraméterek segítségével, egy hozzájuk közeli U^* referenciaállapottal a fluxus-függvény Taylor-sorba fejtése a következőképpen írható fel,

$$\tilde{H}_n\left(U^L,U^R\right) = H_n\left(U^*\right) + C_n^+\left(U^*\right)\left(U^L - U^*\right) + C_n^-\left(U^*\right)\left(U^R - U^*\right) +$$

$$+O\left(\left(U^L-U^*\right)^2,\left(U^L-U^*\right)\left(U^R-U^*\right),\left(U^R-U^*\right)^2\right). \tag{13}$$

Az egyenletben szereplő C_n^+ és C_n^- mátrixok a jobb és bal oldali sajátérték mátrixok,

$$C_n^+ = L^{-1}\Lambda^+ L \text{ és} \tag{14}$$

$$C_n^- = L^{-1}\Lambda^- L\,, \tag{15}$$

valamint Λ_n^+ pozitív és Λ_n^- negatív diagonális mátrixok segítségével állíthatók elő. A diagonális mátrixokban szereplő negatív, illetve a pozitív értékek helyére zérust kell írni. Legyen U^* U^L és U^R aritmetikai középértéke, $\left(U^L+U^R\right)/2$. Ekkor a (8) numerikus fluxus-függvény az $i+1/2$ helyen a következő,

$$\tilde{H}_{n_{i+\frac{1}{2}}} = \frac{1}{2}\left[H_n(U_i)+H_n(U_{i+1})-\left|C_n\left(\frac{U_i+U_{i+1}}{2}\right)\right|(U_{i+1}-U_i)\right]=$$

$$=\frac{1}{2}\left[H_n(U_i)+H_n(U_{i+1})-\delta H_{n_{i+\frac{1}{2}}}\right]. \tag{16}$$

A δH_n tagnak ki kell elégítenie a kozisztenciát, vagyis,

$$\delta H_n(U,U)=0\,. \tag{17}$$

δH_n lényegében egy mesterséges disszipációs tag, amely a centrális diszkretizáció stabilizálására szolgál. Az upwind jellegű sémák többségében, a közöttük lévő különbség a δH_n tag különféle, precíz meghatározásában rejlik. A jelen munkában Roe [6] által közelített fluxus-különbség megosztáson alapuló módszert alkalmaztuk, mert ez tekinthető az egyik legkevésbé disszipatív eljárásnak (numerikusan) és a legközelebb áll a karakterisztikus transzportjelenségek elméletéhez. Az eljárás a fluxus különbségek karakterisztikus mező dekompozícióján alapszik. Ez az egyik leginkább alkalmazható Riemann megoldó az áramlásban megjelenő szakadások pontos modellezésre (pl. lökéshullámok, nyírás).

A (2)-ben szereplő nem viszkózus fluxusok a konzervatív változók elsőfokú függvényei, ami azt jelenti, hogy,

$$F(\beta U)=\beta F(U)\,,\ \forall\ \beta\in\mathbf{R}\,. \tag{18}$$

Képezzük a (18) egyenlet β szerinti deriváltját $\beta=1$ helyen,

$$\left.\frac{\partial F(\beta U)}{\partial\beta}\right|_{\beta=1} = F = \frac{\partial F}{\partial(\beta U)}\cdot\frac{\partial(\beta U)}{\partial\beta} = AU\,. \tag{19}$$

A (19) egyenlet alapján, valamint felhasználva, hogy a C_n mátrix a H_n eredő fluxus konzervatív változók vektora szerinti differenciálásával állítható elő, a H_n fluxus formálisan a következőképpen írható fel,

$$H_n = \frac{\partial H_n}{\partial U} U = C_n U = R_n \Lambda_n L_n U \,, \tag{20}$$

amelyben Λ_n C_n mátrix sajátértékeinek diagonál mátrixa: $\Lambda_n = Diag\left(\lambda_n^{(\alpha)}\right)$, $\alpha = 1,\ 2,\ 3,\ 4$ két dimenzióban: $\lambda_n^{(1)} = V_n$, $\lambda_n^{(2)} = V_n$, $\lambda_n^{(3)} = V_n + c$, $\lambda_n^{(4)} = V_n - c$ $\left(c = \sqrt{\gamma RT}\right.$ a hangsebesség), valamint R_n és L_n a jobb és bal oldali sajátvektor mátrixok $\left(R_n = L_n^{-1}\right)$.

Az információterjedés irányának megfelelően, a Λ_n mátrix elemeinek előjele szerint egy pozitív és egy negatív mátrixra bontható fel, mialatt a negatív és pozitív elemek helyére zérus kerül. Ezzel a megosztással az eredő fluxus a következőképpen írható fel,

$$H_n = R_n\left(\Lambda_n^+ + \Lambda_n^-\right)L_n U = \left(C_n^+ + C_n^-\right)U = H_n^+ + H_n^- \,. \tag{21}$$

Az előzőek értelmében, a cellahatáron megjelenő fluxus-függvény a bal és a jobb oldali állapotoknak megfelelően alakul,

$$\tilde{H}_n\left(U^L, U^R\right) = H_n^+\left(U^L\right) + H_n^-\left(U^R\right), \tag{22}$$

vagy

$$\tilde{H}_n\left(U^L, U^R\right) = H_n\left(U^R\right) - H_n^+\left(U^R\right) + H_n^+\left(U^L\right) = H_n\left(U^R\right) - \int_{U_L}^{U_R} C_n^+(U)\,dU \,. \tag{23}$$

Másrészt szintén felírható, hogy

$$\tilde{H}_n\left(U^L, U^R\right) = H_n\left(U^L\right) - H_n^-\left(U^L\right) + H_n^-\left(U^R\right) = H_n\left(U^L\right) + \int_{U_L}^{U_R} C_n^-(U)\,dU \,. \tag{24}$$

A megoldás azon a lineáris hullám-dekompozíció elven alapul, amelynek során a jobb és a bal oldalnak létezik egy speciálisan átlagolt állapota (kalappal jelölve), amelyet Roe paramétervektornak neveznek. Az integrálás elvégzését követően az előző két egyenlet segítségével a következő összefüggés adódik,

$$\tilde{H}_n\left(U^L, U^R\right) = \frac{1}{2}\left\{H_n\left(U^L\right) + H_n\left(U^R\right) - \left|\hat{C}_n\left(U^L, U^R\right)\right|\left(U^R - U^L\right)\right\}. \tag{25}$$

A $\hat{C}_n\left(U^L, U^R\right)$ mátrix a következő speciális tulajdonságokkal rendelkezik,

1. Valós értékű sajátvektorai és lineárisan független sajátvektorai vannak.

2. Ha $U^L = U^R = U$, akkor $\hat{C}_n\left(U^L, U^R\right) = \hat{C}_n\left(U\right)$.

3. $H_n\left(U^R\right) - H_n\left(U^L\right) = \hat{C}_n\left(U^L, U^R\right)\left(U^L - U^R\right)$.

Az első feltétel a hiperbolikus típusú egyenletek jellemző tulajdonsága, a második a konzisztencia. A harmadik feltétel biztosítja, hogy nyugvó lökéshullámok esetén, amikor $H_n\left(U^R\right) = H_n\left(U^L\right)$, a (25) numerikus fluxus-függvény a fizikailag releváns $1/2\left[H_n\left(U^R\right) + H_n\left(U^L\right)\right]$ fluxussá alakuljon. Más szóval ez azt jelenti, hogy a séma képes legyen a diszkontinuitás megoldására egy cellán belül, ha a szakadás hálóirányú [5]. A (25) egyenletbeli $\left|\hat{C}_n\left(U^L, U^R\right)\right|\Delta U$ vektor a jobb oldali sajátvektorok mátrixának, a karakterisztikus változók vektorának és a sajátérték mátrixnak lineáris kombinációjával állítható elő,

$$\left|\hat{C}_n\right|\Delta U = \left|\hat{C}_n\right|\hat{R}_n \Delta W_n = \hat{R}_n \hat{L}_n \left|\hat{C}_n\right| \hat{R}_n \Delta W_n = \hat{R}_n \left|\hat{\Lambda}_n\right| \Delta W_n = \sum_{i=1}^{4} \left|\hat{\lambda}_n^{(i)}\right| \hat{r}_n^{(i)} \Delta W_n^{(i)}, \tag{26}$$

amelyben $\hat{R}_n$ jobb oldali sajátvektor mátrix $\hat{r}_n^{(i)}$ oszlopvektorok, a ΔW_n vektor pedig a $\Delta W_n^{(i)}$ karakterisztikus változók segítségével állítható elő. Roe megmutatta, hogy ideális gázok esetén $\hat{C}_n$ mátrix abban az esetben egyezik meg C_n Jacobi-mátrixszal ha $\hat{C}_n$ felírható $\hat{\rho}$, $\hat{u}$, $\hat{v}$, és $\hat{H}$ változók olyan függvényeként, amelyek a sűrűség négyzetgyökével átlagolt paraméterek formájában írható fel,

$$\hat{\rho} = \rho^L \chi,\ \hat{u} = \frac{u^R \chi + u^L}{1+\chi},\ \hat{v} = \frac{v^R \chi + v^L}{1+\chi},\ \text{illetve}\ \hat{H} = \frac{\hat{H}^R \chi + \hat{H}^L}{1+\chi}, \tag{27}$$

ahol $\chi = \sqrt{\rho^R / \rho^L}$, amihez a számítástechnikailag leggazdaságosabb egy négyzetgyökszámítás szükséges. A hangsebesség az előbbi paraméterek segítségével szintén kifejezhető,

$$\hat{c} = \sqrt{(\gamma - 1)\left\{\hat{H} - \frac{\left(\hat{u}^2 + \hat{v}^2\right)}{2}\right\}}. \tag{28}$$

Ezek után Roe fluxus-függvénye a következőképpen alakul,

$$\tilde{H}_n\left(U^L, U^R\right) = \frac{1}{2}\left\{H_n\left(U^L\right) + H_n\left(U^R\right) - \sum_{i=1}^{4} \left|\hat{\lambda}_n^{(i)}\right| \hat{r}_n^{(i)} \Delta W_n^{(i)}\right\}, \tag{29}$$

amelyben a jobb oldali sajátvektor mátrix,

$$\hat{R}_n = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \frac{\hat{\rho}}{2\hat{c}} & \frac{\hat{\rho}}{2\hat{c}} \\ \hat{u} & \hat{\rho}n_y & \frac{\hat{\rho}}{2\hat{c}}\left(\hat{u}+\hat{c}n_x\right) & \frac{\hat{\rho}}{2\hat{c}}\left(\hat{u}-\hat{c}n_x\right) \\ \hat{v} & -\hat{\rho}n_x & \frac{\hat{\rho}}{2\hat{c}}\left(\hat{v}+\hat{c}n_y\right) & \frac{\hat{\rho}}{2\hat{c}}\left(\hat{v}-\hat{c}n_y\right) \\ \alpha & \hat{\rho}\left(\hat{u}n_y-\hat{v}n_x\right) & \frac{\hat{\rho}}{2\hat{c}}\left(\alpha+\frac{\hat{c}^2}{\gamma-1}+\hat{c}V_n\right) & \frac{\hat{\rho}}{2\hat{c}}\left(\alpha+\frac{\hat{c}^2}{\gamma-1}-\hat{c}V_n\right) \end{pmatrix}, \tag{30}$$

ahol $\vec{\hat{V}} = \hat{u}\vec{e}_x + \hat{v}\vec{e}_y$, $\alpha = \left|\vec{\hat{V}}\right|^2 \Big/ 2 = \left(\hat{u}^2+\hat{v}^2\right)/2$, és $\hat{V}_n = \vec{\hat{V}}\vec{n} = \left(\hat{u}\vec{e}_x + \hat{v}\vec{e}_y\right)\cdot\left(n_x\vec{e}_x + n_y\vec{e}_y\right) =$ $= \hat{u}n_x + \hat{v}n_y$. $\hat{r}_n^i$ oszlop vektorok $\hat{R}_n$ mátrix oszlop elemei ($i = 1,\ 2,\ 3,\ 4$ balról jobbra). A karakterisztikus vektor elemei a következőképpen írhatók fel,

$$\Delta W_n = \begin{pmatrix} \Delta W_n^{(1)} \\ \Delta W_n^{(2)} \\ \Delta W_n^{(3)} \\ \Delta W_n^{(4)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta\rho - \frac{1}{\hat{c}^2}\Delta p \\ \vec{s}\,\Delta V \\ +\vec{n}\Delta\vec{V} + \frac{1}{\hat{\rho}\hat{c}}\Delta p \\ -\vec{n}\Delta\vec{V} + \frac{1}{\hat{\rho}\hat{c}}\Delta p \end{pmatrix}, \tag{31}$$

amelyben $\vec{s} = n_y\vec{e}_x - n_x\vec{e}_y$ $\vec{n}$-ral jobbrendszert alkotó, rá merőleges egységvektor, a Δ-val jelölt paraméterek jelentése: $\Delta\phi = \phi^R - \phi^L$. Végezetül a $\hat{\Lambda}_n$ sajátérték mátrix kifejtve következőképpen néz ki,

$$\hat{\Lambda}_{\mathbf{n}} = \begin{pmatrix} \vec{\hat{V}}\vec{n} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \vec{\hat{V}}\vec{n} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \vec{\hat{V}}\vec{n}+\hat{c} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \vec{\hat{V}}\vec{n}-\hat{c}v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{\lambda}_n^{(1)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{\lambda}_n^{(2)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \hat{\lambda}_n^{(3)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \hat{\lambda}_n^{(4)} \end{pmatrix}. \tag{32}$$

A numerikus eljárást azonban célszerű kibővíteni az un. entrópia feltétellel, hogy elkerülhetők legyenek az olyan nem fizikai megoldások, mint például az expanziós hullámok. Az entrópia korrekció lényegében egy hozzáadott numerikus disszipációt jelent, azokban a kritikus esetekben, amikor a sajátérték előjelet vált (pl. lökéshullám, hangsebesség). A munkában alkalmazott módszer Yee (1989) által javasolt eljáráson alapszik, amelyben a sajátértékek $\lambda_n^{(1)}$-től $\lambda_n^{(4)}$-ig egy un. entrópia-fix függvény segítségével állíthatók elő [8],

$$\Delta\left|\lambda_n^{(i)}\right| = \psi\left(\lambda_n^{(i)}\right), \tag{33}$$

ahol a ψ függvény:

$$\psi(z)=\begin{cases} |z|, & ha\ \dfrac{|z|}{\hat{c}}\geq\delta, \\ \dfrac{\hat{c}}{2\delta}\left(\dfrac{z^2}{\hat{c}^2}+\delta^2\right), & ha\ \dfrac{|z|}{\hat{c}}<\delta, \end{cases} \tag{34}$$

valamint

$$\delta=\delta_0\left(\frac{|\hat{u}|+|\hat{v}|}{\hat{c}}+1\right), \tag{35}$$

amelyben δ_0 állandó, értéke 0,025.

Roe által közelített fluxus-különbség megosztásán alapuló módszer elsőrendű. A séma pontosítása a magasabb rendű térbeli diszkretizáció bevezetésével érhető el.

A diszkretizáció pontosságának rendje az U^L és U^R állapotok megfelelő függvénykapcsolatának figyelembevételével határozható meg a numerikus fluxusok előállítása során. Mint ahogyan már korábban volt róla szó, az első rendű sémák esetében az ellenőrző felület felett állandó értékkel szerepelnek a paraméterek,

$$U^L_{i+1/2,j}=U_{i,j}\ \text{ és }\ U^R_{i+1/2,j}=U_{i+1,j}, \tag{36}$$

az $(i+1/2,\ j)$ cellahatáron az $(i,\ j)$, illetve az $(i+1,\ j)$ véges térfogat elemek között. A magasabb rendű approximáció érdekében az állandó paraméterek lineárisan változó, másod-, vagy magasabb rendűekkel cserélendők fel. Ennek értelmében felírható $U(x)$ megoldás függvény U_i pont körüli Taylor sora (folytonos függvények esetén),

$$U(x)=U_i+\frac{\partial U}{\partial x}\Big|_{x_i}(x-x_i)+\frac{1}{2}\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\Big|_{x_i}(x-x_i)^2+O(\Delta x^3), \tag{37}$$

továbbá legyen,

$$\frac{\partial U}{\partial x}\Big|_{x_i}=\frac{U_{i+1}-U_{i-1}}{2\Delta x}+O(\Delta x^2)=\frac{\delta_i U}{\Delta x}+O(\Delta x^2)\ \text{ és} \tag{38}$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\Big|_{x_i}=\frac{U_{i+1}-2U_i+U_{i-1}}{2\Delta x^2}+O(\Delta x^2)=\frac{\delta_i^2 U}{\Delta x^2}+O(\Delta x^2). \tag{39}$$

A (38) és a (39) egyenletek segítségével a (37) egyenlet a következőképpen írható fel,

$$U(x)=U_i+\frac{\delta_i U}{\Delta x}(x-x_i)+\frac{\delta_i^2 U}{2\Delta x^2}(x-x_i)^2+O(\Delta x^3), \tag{40}$$

amely az $x \in \left[x_i - (1/2)\Delta x, x_i + (1/2)\Delta x\right]$ tartományban érvényes. A cellaközpontú eljárás során az állapotváltozók az ellenőrzőfelület feletti átlagolt paraméterek formájában kerülnek meghatározásra, vagyis,

$$\overline{U}_i = \frac{1}{\Delta x} \int_{x_i - \frac{1}{2}\Delta x}^{x_i + \frac{1}{2}\Delta x} U(x) dx \,. \tag{41}$$

A (40) egyenlet a (41) egyenletbe való behelyettesítése, és az integrálás elvégzése után a következő összefüggés adódik,

$$\overline{U}_i = U_i + \frac{\delta_i^2 U}{24} + O\left(\Delta x^3\right). \tag{42}$$

A (42) egyenlet (40) egyenletbe való visszahelyettesítése után, pedig felírható, hogy,

$$U(x) = \overline{U}_i + \frac{\delta_i \overline{U}}{\Delta x}(x - x_i) + \frac{\delta_i^2 \overline{U}}{2\Delta x^2}\left[(x - x_i)^2 - \frac{\Delta x^2}{12}\right] + O\left(\Delta x^3\right). \tag{43}$$

Az egyszerű kezelhetőség érdekében érdemes beszorozni a szögletes zárójelben lévő tagot 3κ paraméterrel. Ennek értelmében, $\kappa = 1/3$ esetén a (43) egyenlet harmadrendűen pontos és másodfokú közelítést jelent $U(x)$ térbeli diszkretizációjára nézve. Ha azonban $\kappa \neq 1/3$, de $-1 \leq \kappa \leq 1$, akkor a (43) egyenlet lineáris, a levágási hiba nagysága κ értékétől függően különböző lehet, ami az approximáció rendjét a legtöbb esetben másodrendűre csökkenti. A többdimenziós problémák esetén az ismeretlen paraméterek vektorának lineáris vagy másodfokú előállítását minden egyes cellahatár normális irányába el kell végezni. A numerikus fluxus-függvényre csak a cellahatáron van szükség, ezért az $x = x_i \pm \Delta x/2$ (uniformis hálózás feltételezésével), illetve az $\overline{U} = U$ helyettesítéssel a (43) egyenlet a következőképpen írható fel,

$$\overline{U}^R_{i+\frac{1}{2}} = U_{i+1} - \frac{1}{4}\left[(1-\kappa)\Delta_{i+\frac{3}{2}} + (1+\kappa)\Delta_{i+\frac{1}{2}}\right] \text{ és} \tag{44}$$

$$\overline{U}^L_{i+\frac{1}{2}} = U_i + \frac{1}{4}\left[(1-\kappa)\Delta_{i-\frac{1}{2}} + (1+\kappa)\Delta_{i+\frac{1}{2}}\right], \tag{45}$$

amelyben az $\overline{U}^R_{i+\frac{1}{2}}$ és $\overline{U}^L_{i+\frac{1}{2}}$ paraméterek az $(i,\ j)$ és az $(i+1,\ j)$ cellák között elhelyezkedő $(i+1/2,\ j)$ cellahatár jobb és bal oldalán megjelenő értékeket jelentik, továbbá $\Delta_{i+\frac{3}{2}} = U_{i+2} - U_{i+1}$,

$\Delta_{i+\frac{1}{2}} = U_{i+1} - U_i$ és $\Delta_{i-\frac{1}{2}} = U_i - U_{i-1}$. A (44) és a (45) kifejezések a magasabb rendű sémák egy általános alakja, amelyet gyakran neveznek a másodrendű sémák κ osztályának. Az egyoldalú másodrendű diszkretizálás a $\kappa = -1$, a Fromm séma $\kappa = 0$, a harmadrendűen pontos (upwind) diszkretizáció $\kappa = 1/3$, a Leonard séma $\kappa = 1/2$, és a három pontos centrális differencia séma $\kappa = 1$ esetén áll elő. Sajnos azonban a magasabb rendű upwind eljárások esetén, hasonlóan a centrális sémákhoz, hamis oszcillációk jelennek meg a lökéshullámok közelében, amelyekért a numerikus diszkretizáció egyenértékű egyenletében megjelenő páratlan rendű deriváltak tehetők felelőssé (a párosak okozzák a numerikus disszipációt). A nem oszcilláló megoldások érdekében komplexebb módszereket kellett bevezetni. Két nagy osztálya létezik az ilyen jellegű eljárásoknak; az ENO (Essentially Non-Oscillatory), illetve a TVD (Total Variation Diminishing) sémák. Mivel igen pontosan, oszcilláció-mentesen képesek modellezni az áramlást a szakadás környezetében, valamint legalább másodrendűen pontosak azon kívül, ezért gyakran nevezik nagy megoldó-képességű módszereknek (high resolution methods). Az ENO sémák esetében a magasabb rendű kiterjesztés miatt nem mindig biztosítható az oszcilláció-mentesség, ezért ebben a munkában a TVD-n alapuló eljárásokat részesítettem előnyben. Az U^n paraméter teljes változása (total variation) a következőképpen írható fel,

$$TV\left(U^n\right) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left| U_{i+1}^n - U_i^n \right|. \tag{46}$$

A módszer akkor TVD, ha

$$TV\left(U^{n+1}\right) \le TV\left(U^n\right), \tag{47}$$

ami lényegében azt jelenti, hogy nem alakul ki lokális szélsőérték a megoldásban. A monotonitás tulajdonság a TVD-nél erősebb feltétel az oszcilláció-mentesség szempontjából. A TVD, a monotonitás, a pozitivitás tulajdonságokról bővebb információ a [5] irodalomban található.

A másod, illetve magasabb rendű térbeli approximációk esetén megfelelő korlátok között kell tartani a jobb és bal oldali konzervatív változók gradiensét, hogy ne szűnjön meg a megoldás monotonitása. Ezért a MUSCL módszerek esetén nemlineáris függvényeket, úgynevezett limitereket kell alkalmazni. A legelterjedtebben használt limiterek a Van Albada, a Mulder és a MinMod. Ez utóbbi esetében az extrapolációs eljárás a következőképpen módosul [5],

$$\overline{U}^L_{i+\frac{1}{2}} = U_i + \frac{1}{4}\left[(1+\kappa)\overline{\Delta}_{i+\frac{1}{2}} + (1-\kappa)\overline{\Delta}_{i-\frac{1}{2}} \right] \text{ és} \tag{48}$$

$$\overline{U}^{R}_{i-\frac{1}{2}} = U_i - \frac{1}{4}\left[(1-\kappa)\overline{\Delta}_{i+\frac{1}{2}} + (1+\kappa)\overline{\Delta}_{i-\frac{1}{2}}\right], \tag{49}$$

ahol,

$$\overline{\Delta}_{i+\frac{1}{2}} = MinMod\left(\Delta_{i+\frac{1}{2}}, \beta\Delta_{i-\frac{1}{2}}\right) \text{ és } \overline{\Delta}_{i-\frac{1}{2}} = MinMod\left(\Delta_{i-\frac{1}{2}}, \beta\Delta_{i+\frac{1}{2}}\right) \tag{50}$$

és amelyben a MinMod függvény a következőképpen számítható ki:

$$MinMod(x,y) = sgn(x)\,max\left[0, min\left(x\,sgn(y), y\,sgn(x)\right)\right]. \tag{51}$$

β a kompressziós paraméter: $1 \le \beta \le \dfrac{3-\kappa}{1-\kappa}$, amelyet a validációs eljárás során $1/3$ értékkel vettük figyelembe.

A (48), illetve a (49) egyenletekben szereplő magasabb rendű interpolációs függvények különböző típusú változókkal számíthatók ki; a konzervatív, a primitív, illetve a karakterisztikus változók segítségével. Az 1D-s áramlások tekintetében a karakterisztikus változók egyértelmű előnyt élveznek a primitív és a konzervatív változókkal szemben. Ennek oka, hogy a Riemann invariánsok közül csak az egyik változik meg kismértékben a lökéshullámon, illetve a kontakt-felületen keresztül, ellenben a konzervatív vagy primitív változós esetekben, ahol a paraméterek változása jelentős [5]. 2, illetve 3D-s esetekben szintén a karakterisztikus változók jelentik a legkonzisztensebb közelítést. A számítás gyorsaságának tekintetében azonban a primitív változók előnyt élveznek a konzervatív és a karakterisztikus változókkal szemben, ugyanis ebben az esetben elkerülhető a különböző típusú változók közötti transzformáció. Manna [5] és mások által végzett numerikus vizsgálatok arra engedtek következtetni, hogy a konzervatív változók használata esetén csökkent a konvergencia sebessége, továbbá némely paraméter esetében oszcillációk jelentek meg a szakadások közelében. Ezekből, illetve előzetes összehasonlító elemzésekből következően, a primitív változókat ($U = (\rho, u, v, p)$) alkalmaztam az interpolációs függvények meghatározásra.

Az időbeli diszkretizációs módszer

Az előző alfejezetekben ismertetett térbeli diszkretizációs módszer során jutottunk el a megmaradási egyenletek a szemi-diszkretizált alakjáig ((8) egyenlet),

$$\frac{\partial}{\partial t} U_j = \Re_j^n, \tag{52}$$

amelyben $\Re_j^n$ egy tetszőleges *j* pontbeli *n* időpillanathoz tartozó reziduumot, vagyis a (6) egyenletbeli kontúrintegrál numerikus megfelelőjét jelenti. A közönséges elsőrendű differenciálegyenlet rendszer egyaránt megoldható implicit (pl. Newton linearizáció, relaxáció módszerek) és explicit (pl. haladó

Euler, negyedrendű Runge–Kutta-módszerek) integrálás segítségével. Az implicit módszerek nagy előnye a feltétel nélküli stabilitás. Az explicit időintegrálás esetén jelentkező feltételes stabilitás miatt maximálni kell a megengedhető legnagyobb Δt időlépés értékét. Az időben beállt folyamatok modellezése esetén a végső cél az $\Re$ reziduum zérus értékre történő beállítása olyan gyorsan amilyen gyorsan lehetséges. Az iterációk során az időben pontos tranziens fizikai jelenségek nem fontosak, a számítási eljárás lényegében egy numerikus szállítóeszköznek tekinthető, amely a megoldást az időben beállt folyamat irányába viszi. Ebből a szempontból az implicit módszerek használata a legalkalmasabb, megfelelő korlátozással célszerűen nagyra választva az időlépést. A megfelelő korlátozás a nemlinearitások miatti oszcillációs jelenség megszüntetése érdekében szükséges időlépést jelenti. Az explicit módszerek szintén alkalmasak az időben beállt folyamatok modellezésére a stabilitási feltételnek megfelelő, a maximálisan megengedhető időlépés korlátozásával. Az időben változó, tranziens folyamatok modellezésére az explicit módszerek alkalmasak, azonban a számítási idő csökkentése érdekében az implicit módszerek nagyobb hatásfokkal használhatók a fizikai szempontból megfelelően megválasztott időlépés figyelembevételével. A számítógépi kapacitás, a memóriafoglalás, az iterációs idő és a programozhatóság szempontjából az explicit módszerek előnyt élveznek. Az implicit módszerek esetén a háló csomópontjainak maximális száma, az esetlegesen előálló mátrixműveletek elvégezhetősége miatt korlátozva van, ami a komplex háromdimenziós (esetleg DNS (Direkt Numerikus Szimuláció)) számításokra jelenthet korlátot. Elsősorban a kisebb számítógépi kapacitás igény miatt a jelen esetben explicit időintegrálást alkalmaztunk.

Megfelelő megkötések mellett többféle stabil explicit módszer létezik (pl. Haladó Euler, Explicit McCormack prediktor-korrektor, Runge-Kutta-módszerek) az olyan közönséges elsőrendű differenciálegyenletek megoldására, mint például a (8) egyenlet,

$$\frac{\partial}{\partial t}U_j = -\frac{1}{\Omega_j}\sum_{k=1}^{N_f}\left[H_n\right]_{j,k}\Gamma_{j,k} = \Re\left(U_j, U_k\right). \tag{53}$$

A lehető legkisebb számítógépi kapacitás, illetve az α_k paraméter optimális megválasztása esetén elérhető széles stabilitási intervallum elérésének érdekében a negyedrendű nemlineáris Runge-Kutta módszert alkalmaztuk, amely a következőképpen írható fel,

$$\begin{aligned} U^0 &= U^n \\ U^k &= U^0 + \alpha_k \Delta t \Re\left(U^{k-1}\right) \qquad k = 1,\ ...,\ 4\,. \\ U^{n+1} &= U^m \end{aligned} \tag{54}$$

Az eljárás stabilitásvizsgálata nem célja a munkának, erről a szakirodalomban elégséges információ áll rendelkezésre [5]. Általában, az időben negyedrendű pontosság elérése érdekében az α_k paraméter a következőképpen állítható elő,

$$\alpha_k = \frac{1}{4-k+1}. \tag{55}$$

A stabilitási tartomány valós tengely menti legnagyobb kiterjedtsége érdekében az upwind típusú diszkretizációk α_k paraméterének meghatározása oly módon történik, hogy maximálja a Courant vagy CFL (Courant-Friedrichs-Levy) számot,

$$\alpha_1 = 0{,}12\,,\ \alpha_2 = 0{,}25\,,\ \alpha_3 = 0{,}5 \text{ és } \alpha_4 = 1\,.$$

A számítási idő további csökkentése érdekében a cellára érvényes, maximálisan előírható időlépést alkalmaztuk,

$$\Delta t_{i,j} = \frac{\Omega_{i,j} CFL}{\lambda_{i,j,k} + \mu_{i,j,k}}, \tag{56}$$

melyben a $\lambda_{i,j,k} + \mu_{i,j,k}$ a spektrális sugár $i,j \to k$ irányban,

$$\lambda_{i,j,k} + \mu_{i,j,k} = \frac{1}{2} \sum_{\text{összes cellafal}} \left(|V_n| + c\right)_{\text{cellafal}} \Gamma_{i,j,k}\,. \tag{57}$$

Peremfeltételek

A fizikai és numerikus peremfeltétek a karakterisztikák módszerének segítségével határoztuk meg. Ha egy hullám által szállított információ a számítási tér felől érkezve éri el a cellahatárt (negatív meredekségű (lásd 2. ábra)), a megfelelő változó ennek az információnak a segítségével állítható elő. Ha a karakterisztikus görbe a számítási téren kívülről érkezik, akkor egy fizikai paramétert kell előírni a peremen. Hangsebesség alatti belépő perem esetén három bejövő és egy kimenő karakterisztikus görbe éri el a cellahatárt, mint ahogy az a 2. ábrán látható. Ezért három paramétert, a torlóponti nyomást p^{to}, a torlóponti hőmérsékletet T^{to} és a belépő áramlás irányát α írtuk elő, mint fizikai peremfeltételeket. A

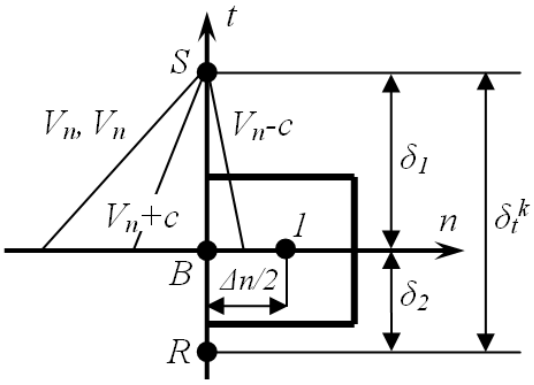
$$\begin{pmatrix} \partial W_n^{(1)} \\ \partial W_n^{(2)} \\ \partial W_n^{(3)} \\ \partial W_n^{(4)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \partial p - c^2 \partial \rho = 0, \text{ on the curve } dn/dt = V_n \\ \partial V_s = 0, \quad \text{on the curve } dn/dt = V_n \\ \partial p + \rho c \partial V_n = 0, \text{ on the curve } dn/dt = V_n + c \\ \partial p - \rho c \partial V_n = 0, \text{ on the curve } dn/dt = V_n - c \end{pmatrix} \tag{58}$$

karakterisztikák módszerének megfelelően, a problémát a cellahatárra merőleges és arra párhuzamos irányokban felírva csak $dn/dt = V_n - c$ görbe rendelkezik negatív meredekséggel, ezért a $\partial W_n^{(4)}$ -hez (58) [3] tartozó karakterisztikus egyenletet alkalmaztuk teljes differenciál formában (59).

$$\left(\frac{\partial p}{\partial t}-\rho c\frac{\partial V_n}{\partial t}\right)+\left(\frac{\partial p}{\partial n}-\rho c\frac{\partial V_n}{\partial n}\right)\left(V_n-c\right)=0 \tag{59}$$

A (60) az (59) egyenlet diszkretizált alakját mutatja be, melynek a sémája a 2. ábrán látható. A V_x a cellahatárra normális sebesség komponens értékét jelenti a továbbiakban.

$$\frac{p_S-p_R}{\delta_t^k}-\rho_R c_R\frac{V_S-V_R}{\delta_t^k}+\left(\frac{p_S\delta_2+p_R\delta_1-p_1}{\Delta n/2}-\rho_R c_R\frac{V_S\delta_2+V_R\delta-V_1}{\Delta n/2}\right)\left(V_R-c_R\right)=0\,. \tag{60}$$



2. ábra. A bejövő és kimenő karakterisztikus görbék sémája a diszkretizált egyenletek értelmezéséhez (1. pont: cella középpont (a fal felületére extrapolálva); *R, B, S* pontok: paraméterek a peremen az előző, az aktuális és a következő időlépésben)

A hiányzó paraméter meghatározása az energia- és a Poisson egyenlet segítségével történt,

$$\left(\frac{p}{p^{to}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}=1-\frac{\gamma-1}{2\gamma}\frac{\rho^{to}}{p^{to}}V_n^2\left(1+tg^2\alpha\right). \tag{61}$$

A (60) és (61) egyenletrendszer a $p=p_s$ és a $V_n=V_s$ paraméterekre a Newton-Raphson eljárás segítségével oldottuk meg az új, *S* időlépésre. A hőmérséklet, a sűrűség és a sebességvektor komponensei a Poisson egyenlet, az ideális gáztörvény és az áramlás ismert irányának segítségével határozhatók meg, ha feltételezzük, hogy cellahatárral párhuzamos sebességkomponens nem változik.

A kilépő peremfeltételek fizikai és numerikus peremfeltételeinek száma és a konkrét számértékek szintén a karakterisztikák módszerének segítségével határozhatók meg. Ebben az esetben két kimenő és egy bejövő karakterisztikus görbe jelenik meg, azért egy, a kilépő statikus nyomás írható elő, mint fizikai peremfeltétel. A hiányzó peremfeltételek meghatározására a $\partial W_n^{(1)}$ és a $\partial W_n^{(3)}$ karakterisztikus változókhoz tartozó egyenleteket alkalmaztuk (58), melyek diszkretizált formában a következők,

$$p_S - c_R^2 \rho_S = \frac{1}{1+2c_1\delta_2}\left[(1-2c_1\delta_1)(p_R - a_R^2\rho_R) + 2a_1(p_1 - a_R^2\rho_1)\right] \text{ és} \tag{62}$$

$$p_s + c_R\rho_R V_S = \frac{1}{1+2c_2\delta_2}\left((1-2c_2\delta_1)(p_R + \rho_R c_R V_R) + 2a_2(p_1 + \rho_R c_R V_1)\right). \tag{63}$$

A nyomás ismeretében a fenti egyenletek a sűrűségre és a normális irányú sebességre megoldhatók meg. A tangenciális sebesség állandósága szintén további feltétele volt a hiányzó peremfeltételek meghatározásának.

A számítási idő csökkentése érdekében, egy új numerikus peremfeltétel számítási eljárást alkalmaztunk a [2] alapján a szilárd fal peremekre, amelynek használatával jelentősen csökkenthető az idő iterációk száma és a számítási idő. A rugalmas fal perem-feltétel lényege egy rugó-csillapító lengőrendszer, amely az idő iterációk során megengedi a falra merőleges nem zérusértékű sebesség-komponensek megjelenését, mialatt a hiperbolikus típusú problémákra jellemző zavarások a falon keresztül, visszaverődés nélkül távozhatnak a számítási térből.

A szilárd fal perem esetén a cellára merőleges sebesség zérus, ezért egy bejövő és egy kimenő karakterisztikus görbe értelmezhető. A $dn/dt = V_n + c$ görbéhez tartozó karakterisztikus egyenlet, mint numerikus peremfeltételt használtuk fel diszktretizált formában,

$$\left(\frac{p_S - p_R}{\delta_t^k} + \rho_R c_R \frac{V_S - V_R}{\delta_t^k}\right) + \left(\frac{p_S\delta_2 + p_R\delta_1 - p_1}{\Delta n/2} + \rho_R c_R \frac{V_S\delta_2 + V_R\delta_1 - V_1}{\Delta n/2}\right)(V_R + c_R) = 0. \tag{64}$$

A tömeg nélküli lengőrendszer reprezentálja az áteresztő falat [2],

$$\frac{\partial V_n}{\partial t} + \frac{V_n}{\tau} = \frac{\mu}{\rho c}\frac{\partial p}{\partial t}, \tag{65}$$

melyben $k = 1/\mu\tau$ a merevség és $\alpha = 1/\mu$ a csillapítási tényező. Az optimális paraméterkombináció a visszavert hullámok minimalizálására a következő: $\mu = 0.5$ és $\tau/\Delta t = 100$. Az egyenlet diszkretizált formája,

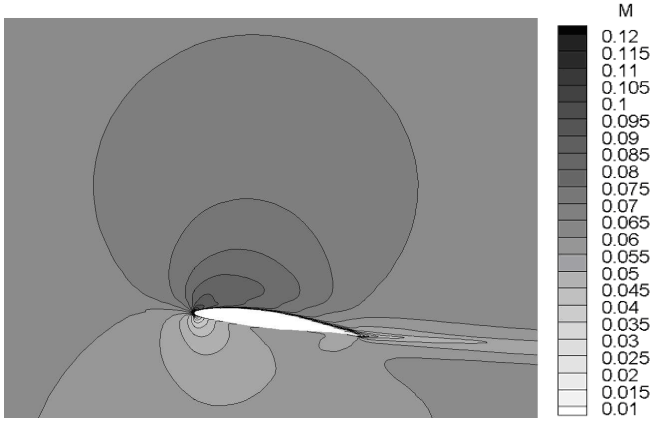
$$V_S - V_R + \frac{\delta_t^k}{2\tau}(V_S + V_R) = \frac{\mu}{\rho_R c_R}(p_S - p_R). \tag{66}$$

A (64) és a (66) egyenletek a peremen érvényes nyomásra p_S, és normális sebességre V_S oldhatók meg a következő időlépésre. A tangenciális sebesség szintén állandónak tekintendő. A hőmérséklet a Poisson egyenlet segítségével határozható meg, mivel a fal adiabatikusnak tekintendő az iterációk alatt.

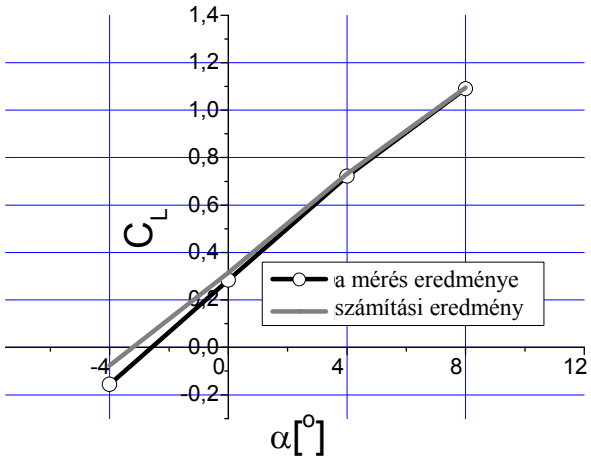
Validáció

A bemutatott eljárás matematikai szempontból kielégíti a konzisztenciára a konvergenciára és a stabilitásra vonatkozó feltételeket, ezt több publikáció is alátámasztja (pl. [7]). A gyakorlati alkalmazást tekintve azonban, célszerű megvizsgálni a program működésének helyességét, hogy milyen hatással vannak az eredményekre a korábban említett elhanyagolások, egyszerűsítések. Ezért a továbbiakban két méréssel összehasonlított tesztesetet mutatunk be; először egy NACA 65-410 szárnyprofil körüli áramlást, majd a profil segítségével kialakított lapátrácsban történő áramlást.

Abbott és munkatársai [1] jelentős számú mérést végeztek el a NACA 6 típusú profilok vizsgálatával kapcsolatban, többek között a felhajtóerő, az ellenállás és a nyomatéki tényező meghatározása céljából. A teszteket két dimenziós kis nyomású Langley szélcsatornában hajtották végre, melynek befoglaló mérete 0.9144 X 2.286 m és amelyben leggyakrabban 0.6 m húrhosszúságú profilokat mértek. A tesztmodellek teljes szélességben kitöltötték az áramlásra merőleges, a szárnydarab elhelyezkedésének megfelelő keresztmetszetet. A szélcsatornában elérhető maximális sebesség 70 m/s körül volt. A mérésről bővebb információ az [1]-ben található.



3. ábra. Mach szám eloszlás a NACA 65-410 profil körül $\alpha = 8^{o}$-s állásszögön és Re=1,4·10^{6} esetén



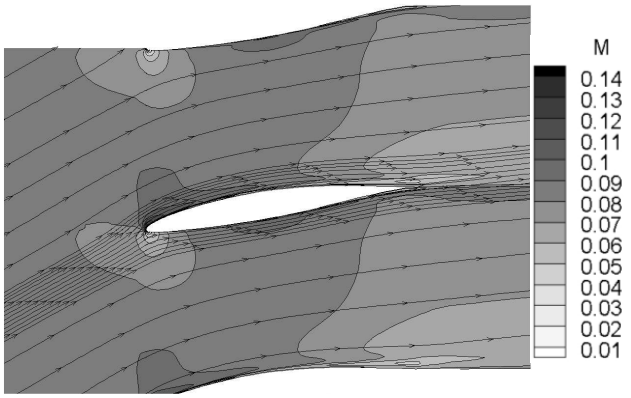
4. ábra. Felhajtóerő tényező az állás szög függvényében NACA 65-410 profil esetén (feket: mérés, szürke: számítási eredmény)

A számítási eredményeket tekintve, a profil körüli Mach szám eloszlás a 3. ábrán látható nyolc fokos állásszög esetén. Az $1{,}4 \cdot 10^6$ Reynolds számmal jelzett áramlás a következő peremfeltételek segítségével állítottuk elő: bementeti torlóponti nyomás: $p_{tot,in}$=101600 [Pa]; bemeneti torlóponti hőmérséklet: $T_{tot,in}$=293.15 [K]; statikus kimeneti nyomás: $p_{stat,out}$=101325 [Pa]. A háló mérete: 120×90. A számítási és mérési eredmények összehasonlításának érdekében a felhajtóerő tényező ábrázolása az állásszög függvényében a 4. ábrán látható. Mérnöki szempontból a módszer elfogadhatónak tekinthetők, mivel a mérés és a számítás eredményei közötti eltérés 10 százalék alatt van.

A második validációs teszt eset szintén NACA 65-410 profilon alapul. A segítségével létrehozott lapátrácsban a lapátosztás: $\sigma = 1.5$, a húrhossz: $c = 12.7$ cm és amelyekből a két profil közötti távolság,

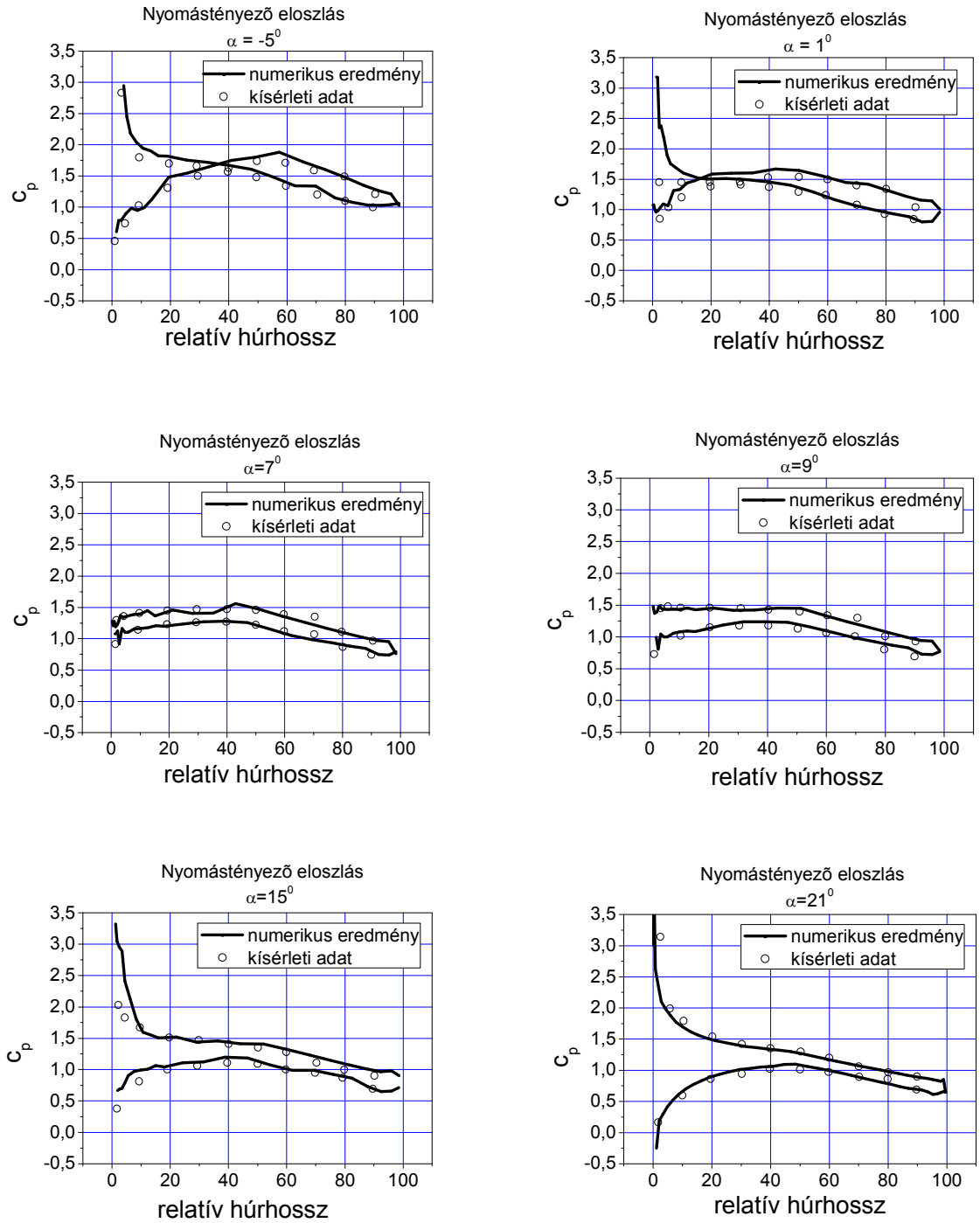
$$g = \frac{c}{\sigma}. \tag{67}$$

A β_1 és az α szögek az áramlás, illetve a húr és az axiális tengely által bezárt szögeket jelöli. A méréssel megegyező [4], a *Re*=2,45e5 Reynolds számnak megfelelő áramlás a következő peremfeltételek beállításával érhetük el: belépő torlóponti nyomás: $p_{tot,in}$=101750 [Pa]; belépő torlóponti hőmérséklet: $T_{tot,in}$=293.15 [K]; kilépő statikus nyomás: $p_{stat,out}$=101325 [Pa]. A H típusú strukturált numerikus háló elemszáma: 110×60. Az áramlástani számítás eredménye az 5. ábrán látható, amelyben a Mach szám eloszlást mutatjuk be β_1=30° és α =21° esetén.



5. ábra. Mach szám eloszlás a NACA 65-410 kompresszor lapátrácsban β_1=30°, α =21° és *Re*=2,45e5 ($v_{inf,\ inlet}$=29 m/s) esetén

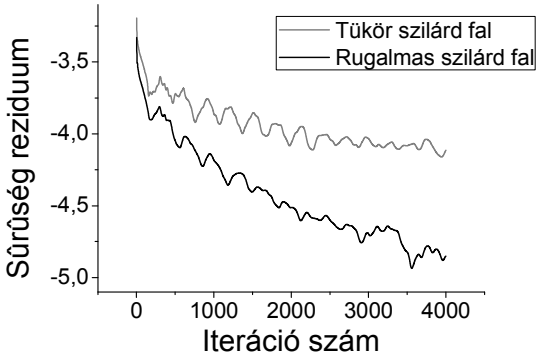
A kvalitatív számítási eredmények méréssel való összehasonlítása a nyomástényező értékének segítségével történt több állásszögön. Az eredmények a 6. ábrán láthatók. A vizsgált számítási eredmények jól korrelálnak a méréssel. A közöttük lévő különbség kisebb, mint 8 százalék, ami mérnöki szempontból elfogadható. A nyomástényező értéke jelentősebb eltérést a belépőél közelében mutat, ami a geometriai diszkretizáció pontatlanságának tudható be.



6. ábra. Nyomás tényező a relatív húrhossz függvényében különböző állásszögek esetén (β_1=30^o and *Re*=2,45e5, $v_{inf,\ inlet}$=29 m/s□, folytonos vonal: számítás eredménye, körök: mérés [4])□

A nyomástényző a távoli rááramló torlóponti, dinamikus és a lokális statikus nyomások segítségével a következőképpen számítottuk ki,

$$C_P = \frac{p_{tot} - p_{stat,1}}{q_1}. \tag{68}$$



7. ábra. A konvergencia lefutás tükör, illetve rugalmas szilárd fal alkalmazása esetén

A számítási sebesség csökkentése érdekében alkalmazott rugalmas fal – a konvergencia kritériumtól függően – jelentős hatást gyakorol a számítási időre. A 7. ábrán látható a sűrűség reziduum normalizált L_2 normája az iteráció szám függvényében a hagyományos (tükör) és a rugalmas fal tekintetében. Megfigyelhető, hogy az új eljárás esetén, 4000 iterációt követően, egy nagyságrenddel kisebb eredmény született. A sűrűség reziduum normalizált L_2 normája a következőképpen számolható,

$$\left\| \frac{\Delta\rho}{\rho} \right\| = log_{10} \sqrt{\frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} \left(\frac{\Delta\rho_i}{\rho_i} \right)^2} \quad , \tag{69}$$

amelyben N_p a háló pontjainak száma és a Δ kifejezés két egymást követő idő iteráció közötti – jelen esetben sűrűség – változásra utal.

KONKLÚZIÓ

A jelen munkában egy kis számítógépi kapacitásigényű kétdimenziós numerikus áramlástani szoftvert dolgoztunk ki és érvényesítettünk. A módszer az Euler egyenletrendszerre épül és az összenyomható súrlódásmentesnek feltételezett áramlás modellezésére alkalmas. A beépített rugalmas fal peremfeltétel segítségével jelentősen csökkent a számítási idő (10-30 %), ami alkalmassá teszi a módszert összetettebb, például optimalizációs eljárásokkal való összekapcsolásra. A program eredményeinek ellenőrzésére két, mérésen alapuló tesztesetet modelleztünk és számoltunk ki. Az első egy NACA 65-410 típusú szárnyprofil körüli áramlás analízise és a felhajtóerő tényező meghatározása volt több állásszög esetén. A második egy ugyan ezen profil segítségével kialakított lapátrácsban kialakult áramlás eredményinek méréssel való összehasonlítása, szintén több állásszög esetén. A számszerű eredmények mindkét esetben jól illeszkedtek a mérés eredményeire, az eltérés minden esetben 10 százalék alatt volt. Az eljárás pontosságának további vizsgálatára újabb érvényesítő

számítások elvégzése szükséges, mielőtt felhasználható lenne kutatás következő lépésében, a felületmorfológiai optimalizációs eljárásban.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A jelen munka az OTKA F 67555 számú kutatási pályázat támogatásával jött létre.

IRODALOMJEGYZÉK

[1] I. H. Abbott, A. E. von Doenhoff, and L. S. Stivers, NACA REPORT No. 824., Summary of Airfoil Data.
[2] K. M Body, Numerical Wave Propagation and Steady-State Solutions, Ph.D. thesis, Aerospace Engineering and Scientific Computing, University of Michigan, 1992.
[3] A. Demeulenaere, An Euler/Navier-Stokes Inverse Method for Compressor and Turbine Blade Design, Von Kármán Institute for Fluid Dynamics, Inverse Design and Optimisation Methods, Lecture Series (1997-05), 1-45.
[4] J. C. Emery, et al., Systematic two-dimensional cascade tests of NACA 65-series compressor blades at low speeds, NACA Report 1368, 1958.
[5] MANNA M.: A Three Dimensional High Resolution Compressible Flow Solver. PhD Thesis in Catholic University of Louvain, 1992.
[6] P. L. Roe, Approximate Riemann Solvers, Parameter Vectors, and Difference Schemes, Journal of Computational Physics, Vol. 43 pp. 357-372, 1981.
[7] E. Stein, R. Borst and T. Hughes, Finite volume methods: foundation and analysis, Edited by John Wiley & Sons, Ltd. c 2004.
[8] H. C. Yee, A class of high-resolution explicit and implicit shock-capturing methods, VKI lecture series 1989-04, March 6-10, 1989; NASA TM-101088, Feb. 1989.

Vonnák Iván Péter nyá. okl. mk. alezredes

A REPÜLŐGÉPEK SÁRKÁNY SZERKEZETÉNEK ÁLLAPOTSZERINTI ÜZEMELTETÉSRE TÖRTÉNŐ ÁTTÉRÉSE

1. A REPÜLŐGÉPEK TERHELÉSI SZINTJÉNEK MEGÁLLAPÍTÁSA A FEDÉLZETI ADATRÖGZÍTŐ ADATAI ALAPJÁN

A manőverező repülőszerkezetek terhelési, vagy igénybevételi szintjének és az össztechnikai üzemidő meghatározásának alapvető paramétere a szerkezet súlypontján ható összesített függőleges túlterhelés **(n_y)**. A kutatási eredmények alapján megállapítható [1, 5, 6, 13], hogy a függőleges túlterhelés ismétlődése, azaz a szerkezet (túl)terhelési (igénybevételi) szintjei repüléskor, azonos típusú repülőgépek vizsgálatakor is, jelentős, a tervezéskor normaként elfogadott túlterhelési értékekhez képest eltéréseket mutatnak,. Ebből adódik az, hogy a szerkezetre meghatározott üzemidő nem teljesül minden repülőgépen, mert az anyag fáradásából adódó repedések a tényleges teherviselő keresztmetszetek rohamos csökkenését idézik elő.

Ezért, ha a (túl)terhelési szintekről és azok ismétlődésének számáról kellő mennyiségű adat áll rendelkezésre, akkor meghatározható a túlterhelés összesített ismétlődésének (ciklusszámának) görbéje **$F_{tö}(N_y^{EKV})$.** Ezt össze lehet vetni a tervezés során normaként meghatározott túlterhelések összesített ciklusszám görbéjével. **$F_{tnorm}(N_y^{EKV})$**, ami az üzemidő számítás alapját képezi. Az összehasonlítás után megállapíthatók a repülőgépek tényleges (túl)terhelési, igénybevételi szintjei. (Repülőgépenként vagy csoportonként, vagy modifikációnként).

Ahhoz, hogy a szárnytő keresztmetszetre, amely az üzemidőt tekintve a repülőgép törzs legmeghatározóbb zónája, a [12] megbízható terhelhetőségi számítási eredményeket kapjunk bevezetésre került a hajlító nyomatékok ekvivalens ciklusai óránkénti, összesített ismétlődésének számítási modellje **F_t $(M_{hajl}^{EKV.})$,** és a nyomatékok által kiváltott, repült órára vonatkoztatott sérülékenységgel (meghibásodással) szembeni érzéketlenségi mutatója [54][1] **$\xi(M_{hajl}^{EKV.})$.** Ezek jól meghatározhatók a fedélzeti adatrögzítőről levett adatok segítségével.

$$M_{Fedelzeti}^{Hajl} = f(n_y; H; M; G_{rg})$$

ahol: n_y – függőleges irányú túlterhelés;

[1] 99 oldal A légi jármű azon tulajdonsága, hogy ellenáll a ráható igénybevételeknek és sérülések esetén is képes ellátni feladatait.

H – repülési magasság;

M - Mach - szám[2];

G_{rg} – a repülőgép súlypontjában mért súlya.

A manőverező repülőgépek (túl)terheltségének, igénybevételi szintjének megállapítására különböző módszerek léteznek. Az üzemeltetés során kapott függőleges irányú (túl)terhelések nagysága, spektruma és ismétlődéseinek száma alapján a fő teherviselő elemek üzemidejének meghatározásához ki lehet számolni a repült órára vonatkoztatott sérülékenységgel szembeni érzéketlenségi mutatót $\xi_t(N_y^{EKV})$, ebből pedig a viszonylagos sérülékenységgel szembeni indexet (ζ_t^*) kapjuk meg, ami az óránkénti mutató és a tervezés során elfogadott mutató hányadosából tevődik össze: [15] [3]

$$\xi_t^*(N_y^{EKV}) = \xi_t(N_y^{EKV}) \ / \ \xi_{\text{t számított}}(N_y^{EKV}) \qquad (1.1.)$$

Nagy tapasztalatokkal rendelkezünk már a földön ill. a levegőben kinyerhető adatok feldolgozásában. (ARMOK) [13], illetőleg az „AVIATRONIC" Kft.-vel közösen kifejlesztett értékelő rendszer[4] segítségével (TAVASZ-29). Minden repülőgépet külön-külön kell (túl)terheltség szempontjából a fedélzeti adatrögzítő által biztosított adatok alapján ellenőrizni és értékelni úgy, hogy nemcsak az $\mathbf{F_t}$ $(M_{Fedélzeti}^{hajll})$ értékét kell kiszámítani, hanem a repült órára vonatkoztatott, és a hajlító nyomatékok által kiváltott, a vízszintes és a függőleges vezérsíkokra vonatkoztatott ekvivalens ciklusok összesített ismétlődésének szintjeit is meg kell határozni $F_t(M_{vizszvs}^{hajl})$; $F_t(M_{függvs}^{hajl})$.

A vízszintes vezérsíkokra vonatkoztatott $\mathbf{F_t}$ $(M_{vizszvs}^{hajl})$ érték meghatározásakor vizsgálni kell a repülési feladat végrehajtása során létrejött függőleges túlterhelést (n_y), magasságot (H) Mach-számot (M), a stabilizátor kitérési fokát($\Delta\varphi_{stab}$) és a repülőgép súlyát (G_{rg}).

$$M_{vizszvs}^{hajl} = f(n_y ; H; M; \Delta\varphi_{stab}; G_{rg})$$

Az $\mathbf{F_t}$ $(M_{függvs}^{hajl})$ értékének meghatározásához vizsgálni kell a függőleges túlterhelést (n_y), a magasságot (H), a Mach-számot (M), a stabilizátor kitérési szögét, a repülőgép súlyát (G_{rg}), az oldalkormány kitérési szögét (δ_{oldk}), a csúszás-szögét (β), az oldalirányú túlterhelés értékét (n_z) és a repülőgép valós állásszögét (α_{val}).

[2] A repülő test sebessége és a közeg sűrűsége által megszabott hangsebesség hányadosa. (E. Mach osztrák fizikus nevéről)
[3] 22-32 oldalak
[4] TAVASZ-29 program

$$M_{függ.vs.}^{hajl} = f(n_y ; H; M; \Delta\varphi_{stab} ; G_{rg;} \delta_{old.k.} ; \beta ; n_z ; \alpha_{val})$$

Amennyiben nem áll rendelkezésünkre a fedélzeti adatrögzítők kellő mennyiségű adata, akkor a (túl)terhelési szint jó közelítéssel megállapítható un. **„expressz"** statisztikai módszer segítségével. [15] Ebben a repült órára vonatkoztatott és a függőleges túlterhelés spektrumaiból és ismétlődéseinek számából adódó sérülékenységgel szembeni érzéketlenségi mutató szintjét a repülések során létrejött túlterhelések átlagával ($n_{yátl}$) és időtartamának figyelembe vételével határozhatjuk meg. Ez a statisztikai módszer széles körben elterjedt a MiG-29 repülőgépek túlterheltségi szintjének megállapítására, amelynek alapját a regressziós modell adja. (1.2. képlet [15])

$$\lg \xi^* (N_y^{EKV}) = A \cdot \lg n_{yátl} + B \cdot S^2_{n_{y\max}} - C \cdot \tau + D \qquad (1.2.)$$

ahol $n_{yátl}$ - a repülések tartama alatt ható függőleges túlterhelések átlagértéke;

$S^2_{n_{y\max}}$ - a repülések időtartama alatt ható maximális függőleges túlterhelési értékek szórásnégyzete; [57][5]

$$S^2_{n_{y\max}} = \frac{1}{k} \sum_{i=}^{k} (n_i - \bar{n}_y)^2$$

τ - a fedélzeti adatrögzítő alapján kiszámított egy feladatra jutó átlagos repülési időtartam.

A gyártó a saját kiindulási adataival végzett számításainak eredményei a fedélzeti adatrögzítő és elemző programunk révén kapott (túl)terhelési értékekkel lefuttatott gyártói számítási modell eredményeivel megegyeztek, ami alátámasztotta a regressziós modell használhatóságát is.

Az 1. táblázatban bemutatom az üzembe helyezés kezdetétől rögzített repülési adatok alapján meghatározható sérülékenységgel szembeni érzéketlenségi index, valamint az ekvivalens, vagy egyenértékű (átszámított) repülési idők számításokkal meghatározott értékeit.[6]

Grafikusan az 1.ábrán mutatom be a repülőgépeink terheltségi szintjeit. (Igénybevételük nagyságát)

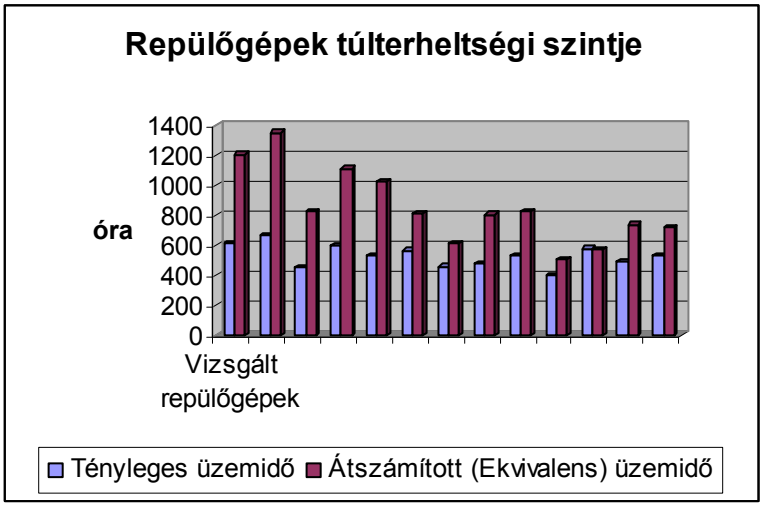
[5] Szórásnégyzet - nem más, mint a vételezett minta $\bar{X}$ átlaga körüli (esetünkben $\bar{n}_y$) második centrális momentuma.

[6] Azaz a fedélzeti adatrögzítő és elemző sgítségével, gépenként meghatároztuk a repülőgépre ható terheléseket, és ennek alapján az úgynevezett **„ekvivalens, vagy átszámított repült időt"**, ami azt jelenti, hogy a tervezési követelmények szerinti, az adott repülőgépre megkapott összesített terhelési ciklusszám alapján, mekkora repült idő tartozna valójában. Ez jól jellemzi a repülőgépek relatív elhasználódásának mértékét.

Repülőgép túlterheltségének értékeléséhez szükséges kiindulási adatok 1. táblázat

№	Rep.gép rendeltet.	Repült idő az üzembe helyezés kezdetétől: $T_ü$ [óra]	Leszállások száma az üzembe helyezés kezdetétől: [darab]	Intervallum a túlterheltség értékeléséhez:		Sér. index: ξ_t^*	Átsz.rep idő: $T_{átsz}$ [óra]	$n_{yátl}$	$S^2_{n_{y\max}}$	τ [perc]
				Lesz. sz: [db]	Rep. idő: [óra]					
	I	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	K.-harci	**616**	1102	1022	590	**1,96**	**1207**	4,71	3,123	34,6
2	K.-harci	**668**	1128	1083	656	**2,03**	**1356**	4,98	2,853	36,4
3	K.-harci	**457**	773	748	442	**1,8**	**823**	4,82	2,73	35,5
4	K.-harci	**600**	1051	1035	589	**1,86**	**1116**	4,75	2,81	34,1
5	Harci	**537**	898	866	526	**1,91**	**1026**	5,01	2,62	36,5
6	Harci	**567**	917	890	555	**1,43**	**811**	4,7	2,563	37,4
7	Harci	**458**	739	713	436	**1,347**	**617**	4,658	2,38	36,8
8	Harci	**477**	770	745	463	**1,694**	**808**	4,94	2,46	37,3
9	Harci	**537**	857	825	403	**1,644**	**883**	4,88	2,713	38,3
10	Harci	**396**	639	615	372	**1,278**	**506**	4,57	2,39	36,3
11	Harci	**580**	874	860	568	**0,992**	**575**	4,54	2,17	39,7
12	Harci	**493**	793	775	485	**1,5**	**740**	4,77	2,583	37,6
13	Harci	**534**	870	848	540	**1,355**	**724**	5,2	1,362	38,2
14	Harci	**424**	715	676	403	**1,77**	**750**	4,79	2,79	35,8
15	Harci	**492**	791	765	478	**1,55**	**763**	5,01	2,12	37,6
16	Harci	**474**	739	681	432	**1,5**	**711**	4,71	2,82	38,1
17	Harci	**259**	445	413	243	**3,21**	**831**	5,33	3,36	35,4

Átszámított repülési idő: $T_{átsz} = T_ü \cdot \xi_t^*$



1. ábra

Az 1. táblázat adatainak elemzése azt mutatja, hogy az n_{ymax} (1.2 képlet) átlagos értéke a harci repülőgépek esetében 4,85446, a kiképző-harci gépek esetében pedig 4,815. A viszonylagos sérülékenységgel szembeni érzéketlenségi index **(ξ^*)** ennek megfelelően az összes vizsgált repülőgépre vonatkoztatva 1,695, ezen belül a kiképző-harci repülőgépeké 1,91, a harci repülőgépeké 1,63. Utóbbi adatokból egyértelmű a következtetés, hogy a **vizsgált repülőgépek túlterhelési értékei nagyobbak a tervezéskor számítottaknál,** így az átszámított (ekvivalens) üzemidő egyenérték 836 óra, ami a kiképző harci repülőgépek esetében 1118 óra, a harci repülőgépeké pedig 749 óra. Mindez pedig arra bizonyíték, hogy a magyar repülőgép-vezetők kiképzési programja a

–túlterheléseket tekintve – eltért a tervezetett szintektől. Ennek ellenére a technikai állapotfelmérés azt mutatta, hogy a repülés biztonságát befolyásoló teherviselő elemek sérülése elhanyagolható, nem csökkentik a szerkezet teherviselő képességét egészében, ezért a valós túlterheltség ellenére is a gyártó főmérnöke az össztechnikai üzemidőt 300 órával és 3 évvel minden további nélkül meghosszabbította. A feltárt hibák technológia szerinti kijavítása után – különös tekintettel az anyagfáradásból adódó repedésekre - a repülőgépek az előírt következő technikai állapotfelmérésig **korlátozás nélkül üzemeltethetők maradtak.**

2. A VIZSGÁLT REPÜLŐGÉP TÍPUS (MIG-29) ELLENŐRZÉSRE, DIAGNOSZTIZÁLÁSRA VALÓ ALKALMASSÁGA

Ellenőrzésre való alkalmasság alatt értjük a vizsgálandó objektum, repülőszerkezet azon tulajdonságát, hogy szerkezeti elemei kialakításával, hozzáférhetőségével lehetővé teszi a szükséges ellenőrzések különféle eszközökkel történő végrehajthatóságát, olyan adatok biztosításával, amelyek alkalmasak diagnosztizálásra. Ezt az automatikus ellenőrző berendezések és a roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek párhuzamos alkalmazásával érhetjük el. [8, 9] Az ***automatikus eszközökkel*** a repülőgép különböző rendszerei (sárkány, hajtómű, rádió, lokátor, fedélzeti műszekerek és navigációs rendszerek, fegyverzet) alkalmazhatóságát, üzemképességét tudjuk értékelni.

A ***roncsolásmentes anyagvizsgálatok*** a teherviselő elemek sérülései, alakváltozásai felfedezésére, megfigyelésére szolgál. A sok fajta anyagvizsgálati módszer (pl. nyúlásbélyegek, nanotechnológia stb) alkalmazásával az ellenőrzésre való alkalmasságot a szerkezet egyik meghatározó, alap tulajdonságaként értelmezzük azért, hogy a teherviselő elemek üzembentartás szempontjából legfontosabb elváltozásait hatékonyan és időben be tudjuk határolni. Ilyenek:

- repedések;
- sérülések;
- anyagfolytonosság változása;
- anyagsűrűség változása;
- korrózió.;
- maradandó alakváltozások, stb.

Ezek vizsgálata, megfigyelése tehát lehetővé teszi a sárkányszerkezet berendezései, teherviselő elemei állapotának felmérését, értékelését, az üzemképtelenséget megelőző állapot időben történő felismerését és kiváltó okainak elemzését.

A repülőgépek ellenőrzését, technikai állapotának felmérését a repülőgéphez rendszeresített eszközökön túl döntően a **Magyar Honvédség a saját fejlesztésű** eszközeivel, módszereivel hajtotta végre. (fedélzeti adatrögzítő és kiértékelő szoftver fejlesztése, endoszkópia, anyagvizsgálati módszerek, berendezések, hajtómű vibráció ellenőrzése, tribológia stb).

Fedélzeti és földi ellenőrző eszközök

A technika fejlődésével a repülőeszközökön egyre több különböző működési elven alapuló és rendeltetésű eszközt, műszert, berendezést és módszert alkalmaznak. Ezek:

- a rendszerbe beépített ellenőrző eszközök;
- fedélzeti adatrögzítők;
- ellenőrző, vizsgáló berendezések;
- az üzembentartás során alkalmazott mérőeszközök;
- komplex, automatizált rendszer-ellenőrző berendezések;
- beépített biztonsági és diagnosztikai eszközök, továbbá a földi támogató rendszerek (GSE, Ground Support Equipment) alkalmazása.[7]

Az ilyen berendezések alkalmazásával lehetővé válik a repülőgépek alkalmazhatósága, üzemképességi szintjének megbízható vizsgálata, értékelése, amennyiben az alábbi feltételeknek megfelelnek [24]:

- jelzi a meghibásodást;
- jelzi az üzemkész állapot elérését;
- jelzi a kiválasztott paraméterek szélső értékeinek elérését, a hibaelhárító (megelőző) munkálatok elvégzésének szükségességét;
- a hibamegelőző (elhárító) munkálatok elvégzésének szükségessége esetében rövidtávú prognózist is képes adni (a meghatározott időintervallumra) az adott rendszer működőképességéről;
- képes a szélső paramétereit elért vagy meghibásodott berendezés, elem kiválasztására, (meghatározására);
- képes az összegyűjtött adatok alapján értékelést adni a vizsgált rendszer, vagy berendezés technikai állapotáról.

A fenti feltételeknek is megfelelő ellenőrző berendezéseket alkalmazni tudjuk a repülőgép feladatra történő felkészítése során, bonyolult meghibásodások behatárolására, a profilaktikus [54][8], utó és időszakos munkák, periodikus ellenőrzések során és technikai állapotfelméréskor. A MiG-29 típusú repülőgépek légi és földi üzemeltetése során alkalmazott gyári ellenőrző eszközök:

1. TESZTER: (fedélzeti adatrögzítő) („Fekete Doboz”)

Rendeltetése, mivel a repülés adatainak összegyűjtése, rögzítése és megőrzése alkalmas:

- a repülőtechnika üzemképességének földi elemzésére (analizálására);
- a repülőgép vezető ténykedésének elemzésére;
- repülőesemények okainak vizsgálatára;

2. EKRÁN: (beépített ellenőrzés és figyelmeztető rendszer)

Rendeltetése:

[7] A korszerű diagnosztikai berendezésekés földi támogató rendszerek alkalmazása a repülőgépek üzembentartásában (GRIPEN előadás) **(**Pogácsás Imre 2008 Szolnok)

[8] 22. oldal Profilaktikus munkák azok, amelyek a fokozatos meghibásodások feltárására, elhárítására szolgál.

- *földön* egy egységes körfolyamat alapján végzett automatikus ellenőrzés az adatok és a mérési eredmények rögzítése a repülőgép rendszereinek 50-55%-ára vonatkozóan;
- *levegőben* pedig a berendezések és a rendszerek automatikus ellenőrzése, a repülőgép-vezető meghibásodásokról időben történő tájékoztatása, adatok rögzítése és prioritások felállítása a repülőgép rendszereinek 75-80%-ára vonatkozóan;
- A meghibásodások jellegének, idejének rögzítése a későbbi dokumentálás elősegítésére a repülőgép rendszereinek 95%-ára vonatkozóan.

Az „EKRÁN" adatait – a „TESZTERREL" ellentétben – dekódoló berendezés nélkül, szalagon szavak és számok formájában megkapjuk.

A „TESZTER" segítségével számos fedélzeti rendszert üzemeltetünk a megbízhatósági szint ellenőrzésén alapuló kiszolgálási stratégia alkalmazásával úgy, hogy eltekintünk a javításközi üzemidők meghatározásától, azaz a berendezést a meghibásodásig történő üzembentartási elv szerint üzemeltetjük.

3. MK-9.12: (földi mobilellenőrző komplexum)

Rendeltetése: A repülőgép és a hajtóművek rendszerei üzemképessége ellenőrzése valamint hibabehatárolás.

A felsorolt üzemeltetés-ellenőrzési eszközök lehetővé teszik a repülőszerkezetek alkalmazhatóságának, üzemképességének és technikai állapotának értékelését, de nem akadályozzák az állapot szerinti üzemeltetésre történő átállás folyamatában más automatikus ellenőrző berendezések mind szélesebb körű alkalmazását, a meghibásodások feltárását, mind pontosabb behatárolását, illetőleg az egyéb felmerülő problémák megoldását.

A meghibásodásokat alapvetően három csoportba oszthatjuk [15][9]

1. A szerkezetekben, anyagokban keletkező és dinamikusan fejlődő nem elektromos, illetőleg a különböző stabil, de nem zajvédett elektromos és elektromágneses jelek csoportja.

Ezek a mechanikai és hidraulika rendszereket és az elektromos erőátviteli eszközöket jellemzi. Az ezzel kapcsolatos adatokat, jeleket megbízhatóan lehet rögzíteni, feldolgozni olyan berendezésekkel, műszerekkel, mint az EKRÁN, a TESZTER, és a különböző, számítógépes anyagvizsgálati eszközök révén.

2. Nagy frekvenciájú műszaki jellemzők, vagy elektromos jelek pontos mérése, digitális formában való rögzítése, majd egy megengedett értékkel való összehasonlítása és a változások jellegének meghatározása. E jelcsoport a fedélzeti rendszerek viszonylagosan egyszerűbb berendezéseit jellemezi, elősegítve a megbízhatóság szintje szerinti üzemeltetést, ha az adatok feldolgozása legalább olyan berendezésekkel történik, mint az MK-9.12; TESZTER; LUCS stb.

3. Nagy mennyiségű dinamikus információ algoritmus szerinti feldolgozása és elemzése.

[9] 29. oldal

Azon rendszerekben lehet eredményes, ahol a legmeghatározóbb és legjellemzőbb, de sok más paramétertől függő jellemzőket sikerül kiválasztani és ezen adatokat nagy mennyiségben is képesek vagyunk feldolgozni. Változásaik jellegét képesek vagyunk meghatározni, nagy mennyiségű, véletlenszerű információhalmaz esetében is és a feladatnak megfelelően a már tárolt adathalmazt össze tudjuk hasonlítani a kiindulási (etalon, vagy minta) adatokkal. A két első jelcsoport mérési módszerei, az erre felhasznált eszközök folyamatos fejlesztése már olyan szintet ért el, hogy a továbbiakban már csak a minőségről, a teljesítményről illetőleg a megoldási módozatokról beszélhetünk.

A harmadik problémakör (jelcsoport kezelése) már sok új megoldandó feladat elé állít bennünket. Az automatizált ellenőrző rendszerek és berendezések alkalmazása sem teszik lehetővé a közvetlen és egyenes megoldásokat, ezért az információ feldolgozó rendszereket célszerű két csoportra osztani:

1. **Speciális** - a vizsgált objektumról kapott elsődleges analóg és digitális információs jelek összegyűjtése, összegzése és rögzítése.

A szükséges technikai eszközök:

- fedélzeti adatrögzítő;
- a fedélzeti gyors adatátdolgozó és kijelző rendszer, amely lehetővé teszi a szükséges adatok levételét és ezek számítógépes kiértékelését;
- földi automatikus ellenőrző eszközök, melyek kompatibilisek a fedélzeten már meglévő automatikus számítógépes ellenőrző rendszerekkel illetőleg azok központi feldolgozó elemivel.

2. **Egységesített** - az információs adatbázis folyamatos bővítésével a begyűjtött digitális adatok és információ másodlagos feldolgozása, a technikai állapot és annak változásának meghatározására.

A szükséges elemek, eszközök:

- könnyen és gyorsan telepíthető és átszállítható számítógépes eszköz;
- a számítógépes program, algoritmus, mely biztosítja a feladat végrehajtását

3. A REPÜLŐGÉP SÁRKÁNYSZERKEZETÉNEK KISZOLGÁLÁSI STRATÉGIÁJÁNAK KIVÁLASZTÁSÁNAK MÓDJA ÉS AZ AZT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Korábbi munkáimban már ismertetett módszertani eljárások a fedélzeti rendszerek és a repülőgép különböző összetevő elemei, berendezései technikai kiszolgálási stratégiájának kiválasztására vonatkoztak.

A repülőgép sárkányszerkezete és teherviselő elemeire alkalmazható technikai kiszolgálási stratégia azonban sajátságos jellegű, ezért három **speciális feltételnek** mindenképen meg kell megfelelnie.[1, 5]

1. A repülőgép elvárt magas fokú megbízhatósági szintje megköveteli, hogy szilárdsági szempontból a szerkezet teherviselő elemei hirtelen nem törhetnek el, vagy nem mehetnek váratlanul tönkre. Ezért a kiválasztott technikai stratégiának a repülőgép egész élettartama alatt biztosítania kell a teherviselő

elemek megfelelő statikai szilárdságát, és statikai szilárdsági tartalékát. Ez az alábbi három feltétel biztosítása esetén teljesíthető:

$$T_{\text{tényleges}} \geq T_{\text{megköv.}}$$
$$\sigma_{\text{tényleges}} \geq \sigma_{\text{számított}} \qquad (3.1)$$
$$\sigma_{\text{maradék}} \geq 0{,}67\sigma_{\text{számított}}$$

Ahol $T_{\text{tényleges}}$ – a repülőgép ismétlődőterhelés vizsgálatainak [54][10]során a szerkezet statikus kifáradási szilárdsága [54][11]alapján kapott, tényleges össz-technikai üzemidő;

$T_{\text{megköv.}}$ – a tervezési alapadatokban megkövetelt (elvárt) össz-technikai üzemidő;

$\sigma_{\text{tényleges.}}$ – a repülőgép ismétlődőterhelés vizsgálatainak során az anyag statikus kifáradási szilárdsága alapján kapott tényleges szilárdsági érték;

$\sigma_{\text{számítot}}$ - a tervezési alapadatok alapján számított szükséges tartamszilárdsági érték. Ez azt jelenti, hogy az igénybevételek számát nem a kifáradási határ alapján kell meghatározni (σ_k), hanem a repülőgép üzemidejére átlagban kapott $3 \cdot 10^3$ igénybevételi értékre, amelyhez tartozó feszültségnél (σ_N) nem jön létre törés, és nem lesz a szerkezetnek felesleges súlya. [55][12](*az egyszerűség kedvéért a továbbra is statikus kifáradási szilárdság kifejezést használom*);

$\sigma_{\text{tényleges.}}$– a repülőgép ismétlődőterhelés vizsgálatainak során az anyag statikus kifáradási szilárdsága alapján kapott tényleges szilárdsági érték;

$\sigma_{\text{maradék}}$ – az üzembentartás, vagy a repülőgép ismétlődőterhelés - vizsgálatai során keletkezett repedésekkel, törésekkel gyengült szerkezet maradék szilárdsági értéke.

A (3.1..összefüggés) feltételek, ha nem teljesülnek a repülőgép nem üzemeltethető tovább, addig, amíg a megfelelő konstrukciós változtatásokat, javításokat, munkálatokat el nem végezték.

2. A következő speciális feltétel a teherviselő elemek repült időhöz kötött ellenőrzésének megkezdése. Alapvetően itt a törzskeretekre és a főtartó bekötési csomópontokra kell gondolni. Különösen nehéz feladat ezen elemek első ellenőrzési időpontjának megválasztása, mivel a hozzáférés nagyban korlátozott és legtöbbször igen munkaigényes. A további ellenőrzések biztosítására ezért, az esetek többségében, utólagos technológiai szerelőnyílásokat kell kialakítani. A fenti szerkezeti elemek ezen kívül a repülőgép teherviselése szempontjából, a leginkább frekventált részei, amelyek ezért döntően meghatározzák a repülőgép össz-technikai üzemidejét.

Az első ellenőrzési időpont, és a további periodicitás megválasztásához meghatározó információk:

- a vizsgált fő teherviselő elemek repedései keletkezési időpontja;

[10] 223. oldal

[11] 219; 220. oldal „Az anyag (vagy a szerkezet) kis frekvenciával, ismétlődő terhelésekkel szembeni ellenálló képességét statikus kifáradásnak, és azt a maximális feszültséget, amely esetén az anyag a terhelés ismétlődésének bármely ciklusszáma esetén sem törik el kifáradási határnak, nevezzük,

[12] 309. oldal

- kezdeti hossza (l_0);
- a kritikus repedési hossz (l_{kr})[13]elérésének időpontja;
- a repedés növekedésének sebessége (V).

Az l_0, l_{kr} és a V értékei meghatározására alapvetően a gyártó által lefolytatott kísérletek és a repülőgép ismétlődőterhelés – vizsgálatai szolgálnak. Azonban elfogadható pontosságú értékeket, különböző számítási modellekkel is kaphatunk.

Az alapkérdés, hogy milyen repedéssel és meddig lehet biztonságosan üzemeltetni az adott erőátviteli elemet. Erre a legtöbb információt a **feszültség intenzitási tényező** adja **(Stress Intensity Faktor) (**továbbiakban **FIT) (K_c)**. [1, 5,7] [55]

A **K** feszültségintenzitási tényező nem anyagjellemző, hanem egy szilárdságtani feladat megoldásában szereplő valamennyi – feszültségkomponenseket leíró – egyenletben szereplő közös szorzótényező. Ha azonban valamely feszültség hatására a repedés terjed, tehát beáll a **„c"** indexszel jelölt kritikus állapot, akkor a **K** szorzótényező helyett $\mathbf{K_c}$ szerepel az egyenletben, amely az **Irwin és Orowan** által módosított **Griffith-féle** hipotézis alapján az anyagjellemzőkkel összekapcsolhatók (3.2; 3.3; 3.4) egyenlet). Az **„1"** index a törésmechanikában tárgyalt három terhelési eset közül az első. Itt a terhelőfeszültség a repedés irányára merőleges, a **2**. esetben párhuzamos lehet, a **3.** esetben pedig működhet merőlegesen a repedés terjedési irányára. [56][14]

Síkbeli deformáció esetében, tehát amikor terhelőfeszültség a repedés irányára merőleges [60][64][15]:

$$K_{1c}^2 = EG_c \qquad (3.2)$$

Síkbeli feszültségi állapot esetében [60]:

$$K_{1c}^2 = (1-\nu)^{-1} \cdot E \cdot G_c \qquad (3.3)$$

Ahol E - rugalmassági (Young) modulus;

ν - Poisson tényező[16];

K_{1c} - az anyagban, terhelés hatására keletkező feszültségintenzitási tényező **kritikus** értéke, amelynél az anyag már roncsolódik;

G_c – a vizsgált anyag anyagtörési szívóssága, vagy másképpen a repedés terjedésével szembeni ellenállása, a fajlagos alakváltozási energia felszabadulásának mértéke (**Irwin-Orovan),** amely kifejezi az egységnyi hosszra, vagy felületre eső erőt a síkbeli deformáció körülményei között. A törési szívósság (δ) a feszültség intenzitási tényező kritikus értéke meghatározó módon függ az alkatrész vastagságától. Az anyagvastagság növelésével a törési szívósság nő a maximális értékéig és ezután esik a K_{1c} értékéig, ahonnan az anyagvastagság növelése ellenére állandó marad és fellép a

[13] A repedés hossza, amely mértékével csökkent teherviselő elem keresztmetszetében keletkező feszültség eléri a minimális számított értékét. (töréshatár) $\sigma_{\text{tényleges}} = \sigma_{\text{számított}}$.

[14] 274; 275. oldalak

[15] 32. oldal

[16] Poisson tényező: Egyirányú feszültségi állapotnál (húzott vagy nyomott) a keresztirányú és a hosszirányú alakváltozások viszonya.

síkbeli deformáció. Létezik egy optimális anyagvastagság (δ_{opt}), amikor a K_{1c} értéke eléri a maximumot. [1;5;7; 42; 43] [62]

$$\delta_{opt} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{K_{1c}}{\sigma_F} \qquad (3.4)$$

Ahol σ_F - folyási határ, ahol megkezdődnek a nagyméretű maradó alakváltozások;

K_{1c} - feszültségintenzitási tényező, amikor az anyag a síkbeli deformáció következtében roncsolódik;

A feszültségintenzitási tényező (FIT) felírható másképpen is (IRWIN):

$$K_c = \sigma_c \cdot \sqrt{\pi \cdot l} \qquad (3.5)$$

Ahol l – a repedés mérete.

Amennyiben a repedt alkatrész méretei a repedés szélességével is korlátozva van (b):

$$K_c = \sigma_c \cdot \sqrt{\pi a} \cdot Y(\frac{l}{b}) \qquad (3.6)$$

Ahol $Y(l/b)$ – mértékegység nélküli szorzószám (repedési méretviszony)

A leggyakrabban használt terhelési formák feszültség-intenzitási tényezői és a hozzájuk rendelt repedési méretviszonyok $Y(l/b)$, az anyagok szakító szilárdsági σ_B, és folyási határértékei σ_F, valamint az optimális lemezvastagsági értékeket δ_{opt} 3.1 táblázatban foglaltam össze. [5,7] [15][17]

Feszültségintenzitási tényezők (FIT), és szilárdsági mutatók 3.1 táblázat

Vizsgált anyagok:	σ_B MPa	σ_F MPa	K_{1c} (FIT) MPa $m^{1/2}$ ($Nm^{-3/2}$)	δ_{opt} mm
30HGSZA	**1200**	**950**	**328…418**	**3,8…6,2**
30HGSZNA	**1500**	**1300**	**270…300**	**1,4…1,7**
EI643	**1900**	**1500**	**165…200**	**1,4**
VNSZ-2US (hidrogén 0,02 cm^3 /100g)	**1300**	**880**	**460…550**	**8,8…12,4**
VNSZ-2US (hidrogén 0,03cm^3 /100g)	**1340**	**940**	**460…550**	**7.6…10,9**
D16T	**450**	**300**	**95…151**	**3,2…8,1**
V-95T	**500**	**450**	**68…130**	**0,7…2,7**
V-93	**460**	**440**	**120**	**2,4**
AKCS-1	**400**	**300**	**63…157**	**1,4…8,7**
AK-6	**350**	**250**	**94…130**	**4,5…8,6**
AK-8	**350**	**250**	**72…109**	**2,6…6,1**
VAD-23	**550**	**500**	**58…115**	**0,4…1,7**

[17] 118. oldal

A 3.4 – 3.6 egyenletek alkalmazásával kiszámíthatók olyan rendkívüli fontos adatok, mint:

- a repedés megengedhető mérete, amikor a szilárdság még csak olyan mértékben csökken le, hogy az még nem eredményezi az anyag roncsolódását;
- az adott repedt konstrukciós elem szilárdsági tartaléka;
- a repedt keresztmetszetben megengedhető üzemeltetési terhelések stb.

3. A harmadik speciális feltétel az ellenőrzések periodicitásának meghatározása, aminek feltételei:

- a repedések kiinduló méreteinek megbízható megállapítása;
- roncsolásmentes ellenőrzések megbízhatósága, alkalmazhatósága;
- a repedések növekedési sebessége meghatározására alkalmazott számítási modell megbízhatósága.

Az ellenőrzések periodicitásának meghatározására szolgáló, kísérleti tapasztalatokon alapuló számítási módszerek a repedések növekedési sebességének meghatározására szolgáló egyenletek integrálásán alapul. [15][18]

A mai gyakorlatban, és magam is, az anyagfáradásból adódó repedések növekedési sebességét a **Paris-Erdogan** egyenlet alapján határoztam meg.

$$V = \frac{dl}{dN} = C \cdot (\Delta K_1)^m \qquad (3.7)$$

Ahol - m; C anyagállandók [42][19][63][20]

$C = 10^{-10}/\text{MPa mm}^{1/2}$

$m = 2\text{-}4$

$\Delta K_1 = K_{1max} - K_{1min}$ - feszültségintenzitási tényezők különbsége;

$$K_{1max} = \sigma_{max} \cdot \sqrt{\pi l}$$

$$K_{1min} = \sigma_{min} \cdot \sqrt{\pi l}$$

$$\Delta K = \Delta\sigma \cdot \sqrt{\pi l}$$

$\Delta\sigma$ - a keletkezett feszültség kiterjedési tartománya;

l – repedés hossza;

A repedés terjedése akkor válik igazán veszélyessé, ha a repedés a növekedése során (Δl) eléri a kritikus (l_{kr}) hosszméretét, amikor már az anyag törése bekövetkezik. Így az élettartam vizsgálata szempontjából számunkra meghatározó, hogy a fáradási repedés hossza (l_f) kisebb legyen a kritikus értéknél ($l_f < l_{kr}$).[57][21]

Ahol $l_f = l_0 + \Delta l$

[18] 119. oldal
[19] 35. oldal
[20] **c** – egy anyag kísérletileg megállapított repedésállósági jellemzője; **m** – tőrési szívóssági kitevő.
[21] 35;36. oldalak

l_0 – a repedés kezdeti mérete

A kritikus repedéshossz, amely megfelel a maximális húzófeszültségnek ($\sigma=\sigma_{max}$) az alábbi szerint számítható ki:

$$l_{kr} = \frac{K_{1c}^2}{\pi \cdot \sigma_{max}^2} \qquad (3.8)$$

A repedés hosszának növekedését a Paris-Erdogan összefüggés segítségével, az anyagjellemzők és a terhelési ciklusszám ismeretében határozzuk meg:

$$\Delta l \approx \Delta N_{kr} \cdot (\Delta K_1)^m \qquad (3.9)$$

Ahol a ΔN_{kr} – az a terhelési ciklusszám növekmény, amely hatására a ($l_{0)}$ kezdeti repedés hossza eléri kritikus értékét (l_{kr}).

Ennek ismeretében a szerkezet várható élettartamát megkapjuk, ha a töréshez szükséges teljes ciklusszámot kifejezzük:

$$N_{kr} = \frac{1}{C} \int_{l_0}^{l_{kr}} \frac{dl}{(\Delta K_1)^m} \qquad (3.10\ )$$

A $\Delta N_{kr} = N_{kr} - N$ különbséggel, ahol az N az aktuális terhelési ciklusszám, közvetlenül megbecsülhetjük a maradék (hátralévő) üzemidőt.

A ΔN_{kr} értékét, tehát azt a ciklus-számot, amely megfelel a repedés (kezdeti) l_0 –tól l_{kr} (kritikus) értékig történő növekedési idejének, azaz az alkatrész roncsolódásának, megkaphatjuk az alábbiak szerint is [15][22]:

$$\Delta N_{kr} = \frac{2}{(m-2) \cdot \pi^{m/2} \cdot C \cdot \Delta\sigma^m} \cdot \left[\frac{1}{l_0^{m/2} - 1} - \frac{1}{l_{kr}^{m/2} - 1} \right] \qquad (3.11)$$

Bármilyen számítás után repülőgép teljes sárkányszerkezetét ismétlődő terhelési vizsgálatoknak kell alávetni. Az eredmények ismeretében a kritikus teherviselő szerkezeti elemek ellenőrzésének első időpontja és periodicitása már meghatározható úgy, hogy a kapott igénybevételi ciklusszámokat repült órákra vetítjük át. Ez csak úgy lehetséges, ha biztosított a repülőeszköz üzemeltetése során fellépő valós üzemi terhelések és az ismétlődő terhelési vizsgálatok, igénybevételek egymásnak való megfelelőssége (ekvivalenciája) ($N_{kr} \cdot K_{EKV.}$), valamint az azonos szilárdsági normák figyelembevételével kiválasztott üzemidőt befolyásoló tényezők egyezősége (η). A repülésbiztonságát nem veszélyeztető üzemidő ($T_{bizt.üz.i}$), amely elérésénél még nagy valószínűséggel garantálható, hogy a szerkezeti elemek nem roncsolódnak, nem mennek tönkre, az alábbiak szerint határozható meg [15][23]:

$$T_{bizt.üz.i.} = \frac{T_{közepes}}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4} \qquad (3.12)$$

[22] 66. oldal
[23] 123. oldal

Ahol $T_{közepes} = N_{Cikl} \cdot K_{Ekv}$ - konstrukció közepes élettartama;

N_{Cikl} - a berepülések, anyagkifáradási vizsgálatok eredményeképpen megállapított bázis igénybevételi ciklusszám;

$K_{Ekv} = \frac{Q_{repültidő}}{Q_{Cikl}}$ - a vizsgálati programban meghatározott ciklusszáma és az üzemeltetés tényleges repülési ideje közötti ekvivalencia (viszonyított) szám;

$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$ a biztonságos üzemidőt befolyásoló tényezők;

$\eta_1 = 1 - 1{,}5$ - kifejezi a berepülési és más vizsgálati programok, valamint az üzemeltetés egymásnak való megfelelését;

$\eta_2 = 1 - 1{,}2$ - a kritikus ellenőrzési helyekre való hozzáférés lehetőségét (milyenségét) kifejező érték;

$\eta_3 = 1 - 2$ - az üzemeltetési feltételeket jellemző adatok megbízhatósági foka;

$\eta_4 = 3 - 5$ - a különböző konstrukciós elemek egymástól eltérő anyagfáradási határait kifejező érték;

A négy fenti elemből álló megbízhatósági tényező értéke változhat:

η_{min} = 3 – tol η_{max} = 18-ig.

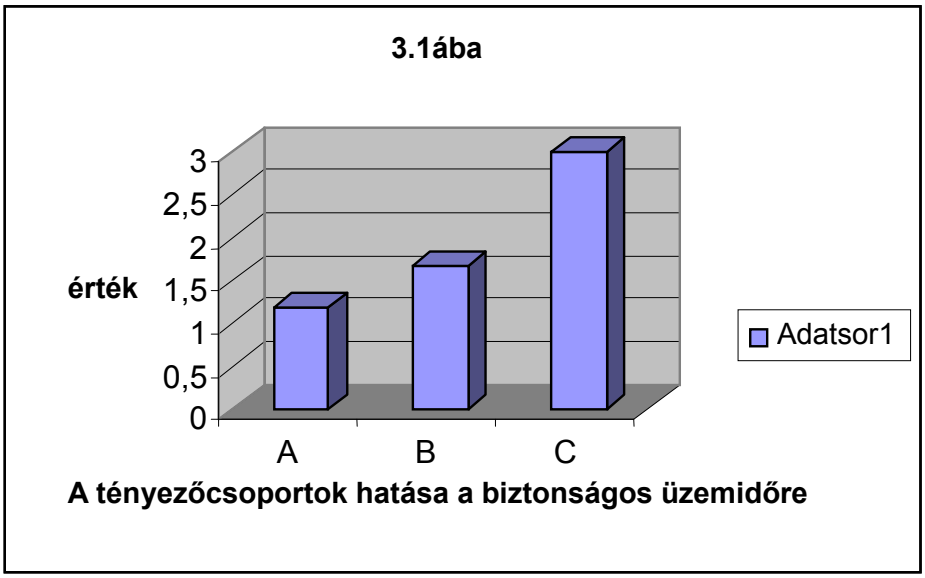
A biztonságos üzemidőt befolyásoló tényezők három csoportba sorolhatók:

1. η_2 = 1-1,2 - az ellenőrizhetőség elősegítési mutató;
2. η_4 = 3-5 - a szilárdsági vizsgálatok mélységének növelési mutatója
3. $\eta_1 \cdot \eta_3$ = 1-3 - az üzembentartási feltételek pontosítását, kifejező mutató.

Hatásuk a repülésbiztonságot nem veszélyeztető biztonságos üzemidőre különböző ($T_{bizt.üz.id.}$) (3.12):

- az első 20 százalékkal növelheti a biztonságos üzemidőt ($T_{bizt.üz.id.}$);
- 66,66 százalékban növelheti a $T_{bizt.üz.id.}$;
- **200 százalékkal növelheti a $T_{bizt.üz.id.}$.**

A adatokból megállapítottam, hogy a$T_{bizt.üz.id}$ értékét a legnagyobb mértékben az üzembentartási feltételek befolyásolják . (3.1) ábra [1, 5, 15]



A $\eta_2 = 1 - 1{,}2$

B $\eta_4 = 3 - 5$

C $\eta_1 \cdot \eta_3 = 1 - 3$

3.1 ábra A tényezőcsoportok hatása a biztonságos üzemidőre

A sárkányszerkezet $T_{bizt.üz.id}$ értékének meghatározása után azt kell vizsgálni, hogy az esetlegesen sérült, repedt teherviselő szerkezetek és elemei hogyan képesek az üzembentartási feltételeknek megfelelni, és a repülésbiztonsági követelményeket is kielégíteni. Ennek érdekében folytatni kell az ismétlődő terhelési próbákat a repedések, sérülések megléte ellenére is. Értékelni kell a repedések növekedésének sebességét, aminek segítségével meg lehet állapítani azt az igénybevételi ciklusszámot, ahol a repedés már eléri kritikus mértékét.

Ezzel párhuzamosan meghatározható a már repedt konstrukció szükséges szilárdsági értékei azért, hogy $\sigma_{maradék} \geq 0{,}67\sigma_{számított}$ (3.1) feltétel teljesüljön. Ebben az esetben, a biztonságosnak tekintett üzemidőt, amikor a repedés eléri kritikus értékét, az alábbiak szerint kaphatjuk meg: [1;5][15][24]

$$T_{bizt.üz.i.\,(0,67)} = \frac{N_{0,67} \cdot K_{EKV.}}{\eta_V} \qquad (3.13)$$

Ahol $N_{0,67} = N_{l_0} - \Delta N_{0,67}$ (lásd 66.oldalt!)

$$N_{0,67} = \frac{l_{kr} - l_0}{V} = \frac{l_{0,67} - l_0}{V}$$

l_0 - a repedés kezdeti hossza;

$l_{krit} = l_{0,67}$ – az a kritikus repedéshossz, amikor a szükséges szilárdsági tartalék két-harmada, azaz 67 százaléka a számított értéknek;

[24] 125. oldal

$N_{0,67}$ - ciklusszám, aminél elérjük a $l_{0,67}$ repedéshosszt;

N_{l_0} - ciklusszám, aminél az l_0 repedéshosszt érjük el;

K_{EKV} - a vizsgálati terhelési programban meghatározott ciklusszám és az üzemeltetés során repült, vagy ledolgozott üzemidő közötti ekvivalencia időt kifejező mutató;

η_v - a repedés fejlődési idejének hatását kifejező tényező.

Az ismételt terhelési próbák során a sárkányszerkezet erőátviteli, illetve teherviselő elemei szilárdsági tulajdonságait, a meghibásodások elleni érzékenységük megállapításához, szándékosan le kell rontani. Lehetőségeink:

- az erőátviteli ill. teherviselő elemek kritikus keresztmetszetében speciális bemetszés alkalmazása;
- a bekötési csomópontoknál a csavarkötések számának lecsökkentése (csavarok kivétele).

Ezek után megismételjük az igénybevételi próbát, ami alapján már jó közelítéssel meghatározhatók a :

- repedésnövekedési sebessége;
- terhelési ciklusszám, amikor a meggyengített elem eltörik;
- üzemidő nagysága, amikor a szilárdsági elemekben keletkező repedés(ek) eléri(k) a meghibásodás elleni érzékenység szerinti kritikus értéküket ($T_{bizts.megh.}$).

$$T_{bizt.megh.} = \frac{N_{megh.} \cdot K_{EKV}}{\eta_{megh.}} \qquad (3.14)$$

Ahol: N_{megh} - ciklusszám, ahol a meghibásodás elleni érzéketlenség szerinti repedéshosszt (l_{megh}) elérjük;

η_{megh} - a még meghibásodás elleni érzéketlenség tartományba tartozó repedés kialakulásának hatásait jellemző mutató.

A MiG-29 állapotszerinti üzemeltetésre történő átállást megelőző kutatások során a fent bemutatott szilárdsági feltételekkel vizsgálat folyt.

A repülőgép statikai és maradék – szükséges szilárdsági követelményeit már a repülőgép vázlatos terveinek kidolgozása során meghatározzák.[12] A feszültségintenzitási tényező (FIT) ismeretében és a kísérleti számítási modell valamelyikének alkalmazásával pedig a repedésnövekedési sebesség meghatározható:

- a szárny alsó, a törzs № 3. számú törzskeretéhez kapcsolódó panelban;
- a szárny № 1. számú főtartója alsó, a törzsbordához csatlakozó szelvényében.

A Paris-Erdogan számítási modell alapján általam is megkapott értékeket ezek után laboratóriumi kísérletekkel is igazolnunk kellett. **A számítások, és az igénybevételi próbák eredményei közötti 10 százaléknál kisebb eltérés a számítási modell alkalmasságát támasztja alá**. [15][25]

[25] 127. oldal

Ezután következhetett az ellenőrzési periódusok meghatározása **(ΔT). A** repedések megjelenéséhez tartozó igénybevételi ciklusszámokból levezethető ekvivalens üzemidők azt mutatták, hogy elegendő ellenőrizni [15][26]:

- a repülőgép borítását (a meglévő szilárdsági tartalék biztosításával $\sigma_{max.üz.}$)

$$\Delta T \geq \textbf{40 óránként;}$$

- a szárny főtartókat a repedések kritikus értékének eléréséig elegendő

$$\Delta T \geq \textbf{1100 óránként.}$$

A két kritikus elem repedéseit az üzemeltetési tapasztalatok szerint nagyon jól tudjuk ellenőrizni az operatív ellenőrzési munkálatok keretében is.

A 3.12 egyenlet alapján, a kezdeti, az állapot szerinti üzemeltetésre való áttérés keretében megállapított biztonságos üzemidő ($T_{bizt.üz.idő}$) nem más, mint a repülőgép **össztechnikai üzemideje.**

$$\mathbf{T_{bizt.üz.idő} = T_{össztech.üz.idő}}$$

Ennek elérésekor a repülőgép további üzemeltetése t i l o s!

A nemzetközi gyakorlat is alátámasztja, hogy a kezdeti számított üzemidők az üzembentartás folyamatában az üzemeltetési adatok és tapasztalatok nagy tömegének feldolgozása, kiértékelése után, általában növekedhetnek. Ezek az üzemidők a repülőeszköz teljes élettartama alatt többször is módosíthatók [2,4,15;27.]. Az üzemidő megnövelését befolyásoló tényezők:

- a teherviselő elemekről az üzemeltetés során kapott információk megbízhatósága és statisztikailag értékelhető mennyisége;
- az üzemeltetés során fellépő igénybevételek tényleges hatásai;
- a kísérleti terhelési feltételek valós terhelési viszonyokhoz történő sikeres megközelítése (ekvivalenciája).

Az utolsó feltétel teljesítése igen hosszú folyamat eredménye lehet csak, melynek sikeréhez az üzemeltetők tapasztalatai, így a Magyar Honvédségé is, és az általuk biztosított információk, mérési és ellenőrzési eredmények, analízisek meghatározó módon hozzájárultak.

A MiG-29 esetében a kritikus teherviselő és erőátviteli elemek biztonságosnak tekinthető üzemideje a fentiekből láthatóan több mint 1000 repült óra lett. ***(A Magyar Honvédségnél napjainkban az első nagyobb ellenőrzés ideje 1000 óráról már 1400 órára tolódott ki.)***

A repülőgép biztonságos üzembentartásához a következő munkálatokat mindenképen el kellett elvégeznünk:

- a №5. számú törzskeret fedélzeti panel megerősítése;
- a №7. számú törzskeret válaszfal és oldalsó panel megerősítése;
- a №3. számú tartály beerősítő fülecsei megerősítése;
- a №5. számú törzskerethez csatlakozó törzsborda megerősítése;

[26] 127. oldal

- a szárnyfőtartók alsó, borításokhoz csatlakozó övei megerősítése különös tekintettel a szárnyvégeken stb.

A sárkányszerkezet főbb elemeiben is az 1000 repült óra feletti üzemidők megfelelő szilárdsági tartalékait, illetőleg a megfelelő teherviselő képességet, üzemeltethetőséget a kísérleti igénybevételekkel sikerült igazolni [15][27]:

- törzs;
- szárny;
- stabilizátorok és bekötései;
- csűrőkormányok és bekötései,
- függőleges vezérsík,
- a törzs orr-része.

A szerkezeti elemekben tapasztalt főbb elváltozások:

A törzsben: - a №3. számú tartálypanel hegesztési varratain keletkeztek repedések, amelyeket hegesztéssel ki lehetett javítani. A komplex kísérleti igénybevételi program végén
(amely kb. 5000 alapprogramból állt) a szilárdsági tartalék értéke a következő volt:

$$\sigma_{stat.tart.} = 0{,}74\ \sigma_{számított} \geq 0{,}67\ \sigma_{számított}$$

(Tehát a 3.1 számú egyenletben meghatározott feltétel teljesült.)

A szárnyon (3 alapeset vizsgálatának eredményei a javítás során megerősítést nyertek):

- a № 3. számú borda alsó panel és a szárnyfőtartó csatlakozása;
- ugyanezen elemek, de már gyengített összeerősítő csavarok beépítésével;
- a sériagyártás során megerősített szárnytartó elemek első és hátsó főtartók beépítésével.

A több mint 1800 alapprogram végrehajtása során sérülés, maradandó alakváltozás nem volt, repedések nem keletkeztek.

A már ismertetett összefüggés (3.14) segítségével elvégzett számításokat igazolták a kísérleti igénybevételek során kapott eredmények. Így megállapítást nyert, hogy

$$T_{bizt.üz.idő} \geq 1000 \text{ repült óra}$$

Még jobb eredményeket kaptunk a sériagyártás során megerősített szárny- főtartókkal szerelt első és hátsó elemek vizsgálata során. A szilárdsági tartalék ebben az esetben:

$$\sigma_{stat.tart.} = 1{,}12\ \sigma_{számított}$$

A kísérleti igénybevételek során kisebb, csak a helyi szilárdsági viszonyokat befolyásoló, de a repülésbiztonságára jelentősen hatást nem gyakorló meghibásodásokat, mintegy harmincat, a közlönymunkák elvégzése során ki lehetett küszöbölni. Ilyenek például:

- a №9. számú törzskeret megerősítése;
- stabilizátorok csapágyának cseréje;
- függőleges vezérsík felépítmény tartóelemének módosítása;

[27] 127; 129. oldalak

- a fékernyő csőkazetta javítása (szükség esetén);
- a №3. számú törzskeret síkjában lévő alsó panel hegesztési varratának hegesztéssel történő kijavítása (szükség esetén);
- a №3. számú törzskeret síkjában lévő szívó csatorna beömlő nyílás felső panel javítása;
- alsó törzsféklap bekötés módosítása;
- a №7. és a №7G számú törzskereteket összekötő oldalsó panelek megerősítése;
- a hajtóművek tere válaszfalának megerősítése;
- № 2. számú döntött törzskeret profilfal megerősítése (gerinclemez);
- az orrfutómű gondola áramvonalazó lemezeinek módosítása;
- az orrfutókerék mozgató mechanizmus és rezgéscsillapító („Simmi”oldallengés csillapító) himbáinak szükség szerinti cseréje.

A tervezőirodánál a biztonságos üzemidők növelésére a kísérleti igénybevételek napjainkban is tovább folytatódnak. Az irányadó elfogadott érték [15][28]:

$$\mathbf{T_{bizt.üz.i.} = n \cdot 1000 \text{ óra}}$$

Ahol n = 3 – 5 lehet

A korábbiakban már bemutattam, hogy az igénybevételi ciklusszám felhasználásával és a 2.18. és 2.19. összefüggések segítségével az üzemidőket meg tudjuk határozni. Az így kapott adatok és a kísérleti igénybevételek során rögzített értékek összehasonlítása után a két adathalmaz csak 10 százaléknyi eltérést mutatott, mint ahogy erre már korábban utaltam. Ugyanezen vizsgálatok a repülőgép borításán és egyéb erőátviteli elemein hasonló eredményekkel jártak. A kísérleti igénybevételeken túl itt is alkalmazni kellett az erőátviteli elemek és csomópontok esetében a speciális terhelési vizsgálatokat, mégpedig gyengített rögzítőcsavarok beépítésével illetőleg a csavarok számának lecsökkentésével. A szerkezetet a maximális terhelhetőség nagyságának **74 százalékával** következésképpen a 3.1. összefüggésben meghatározott feltételeknél nagyobb terheléssel ($\sigma_{stat.tart.} \geq 0{,}67\sigma_{számított}$) terhelték. A megnövekedett terhelés ellenére sem lehetett az erőátviteli szerkezetekben maradandó alakváltozást illetőleg töréseket tapasztalni. [15][29] A szélesebb körű alkalmazás érdekében a kapott adatokat, így a meghibásodások elleni érzékenységet, a szerkezetek ellenálló képességét, az első ellenőrzésig lerepülhető és az össztechnikai üzemidőt, az ellenőrzések ciklusidejének meghatározását csak huzamos üzemeltetés során lehet majd megbízhatóan, hitelesen visszaigazolni. Az általam kiválasztott és alkalmazott számítási modell alapján magkapott eredményeket összevetettem gyár által rendelkezésre bocsátott kísérleti igénybevételi adatokkal. Ezek alapján és a már hosszú idő óta saját fejlesztésű ellenőrzési módszereink, eszközök terén elért eredményeink birtokában, javaslatomra a Magyar Honvédség először és úttörőként sikeresen végig vitte a repülőgépeink sárkányszerkezetén és fedélzeti rendszerein az állapot szerinti üzemeltetésre

[28] 131. oldal
[29] 131. oldal

történő átállás programját. A befejezés után hivatalosan is elindulhatott a repülőgéppark állapotszerinti üzembentartása, így az elméleti elgondolásokat az elmúlt évek tapasztalatai és gyakorlata nagyrészt be is igazolt.

4. A REPÜLŐGÉP ÁLLAPOT SZERINTI ÜZEMELTETÉSÉRE KIVÁLASZTOTT KISZOLGÁLÁSI SÉMA ÉS ANNAK GAZDASÁGOSSÁGI MUTATÓI

A repülőtechnika állapot szerinti üzemeltetésére történő áttérése tervszerűen a gyártóval egyeztetett programunk szerint történt meg. A program főbb elemei[30] :

1. A technikai állapot meghatározása során elemeztük az időszakos vizsgák végrehajtását, a repülőgép szintezési eredményeit, a repülőgép dokumentációjának vezetését és annak előírásoknak való megfelelését, az egyes repülőgépek üzembentartási sajátosságait, a sárkányszerkezet és berendezései vizsgálatának eredményeit stb.
2. Értékeltük a repülőgépek tényleges terhelését, igénybevételi állapotát (1 táblázat és 1 ábra)
3. Kockázatelemzés keretében vizsgáltuk a fedélzeti rendszerek és különböző berendezéseik meghibásodásának repülésbiztonságára való hatásait. Azaz kockázatelemzést hajtottunk végre, majd meghatároztuk az egyes rendszerek és berendezések kiszolgálási stratégiáját.
4. Felhasználva kockázatelemzésünk eredményeit a gyártó jóváhagyásával elkészült a korlátozott üzemidejű berendezések, blokkok, műszerek listája.
5. Mindezeket figyelembe véve meghatároztuk és a dokumentációba rögzítettük a technikai kiszolgálás módozatát és periodicitását.

A fentiekkel párhuzamosan a földi kiszolgáló eszközök, ellenőrző berendezések felsorolását pontosítottuk és meghatároztuk a minimálisan szükséges fogyó és karbantartó anyagok mennyiségét.
Új technikai kiszolgálási dokumentáció vált szükségessé, ami a Magyar Honvédség üzemeltetési tapasztalatait is felhasználta. Ennek megfelelően az állapot szerinti üzemeltetés tervszerű kiszolgálása a következő elemekből tevődik össze:

- operatív technikai kiszolgálás, ami a repülés előtti, ismételt és repülés utáni előkészítéseket foglalja magába;
- periódikus ellenőrzések, melyeket a technikai állapot felmérések között kell végrehajtani;
- Célirányos átvizsgálások és ellenőrzések (amennyiben szükségesek);
- meghatározott üzemidők ledolgozása után végrehajtandó műszaki-technikai állapot felmérés, amit a szükség szerinti javító – helyreállító munkálatok zárnak le.

Az **operatív** kiszolgálási munkálatok mélysége és mennyisége az állapotszerinti üzemeltetés keretei között jelentősen lecsökkent, ezért a humán és egyéb erőforrás igénye a következő ellenőrzések ráfordításaival nem összemérhető.

[30] A felsorolás 1. és 3. alpontjában tárgyaltakat részletesen, a témában készült PhD értekezésemben fejtem ki.

A **periódikus ellenőrzések**, munkálatok tartalma:

- sárkányszerkezet átvizsgálása;
- a sárkány rendszerei és berendezéseinek ellenőrzése;
- szűrőberendezések tisztítása;
- fedélzeti rendszerek és berendezéseinek ellenőrzése, szükség szerinti beszabályozása, az esetleges meghibásodások kijavítása.

A periódikus ellenőrzéseket minden 200 $^{+40}_{-20}$ repült óra vagy 24 $^{+4}_{-2}$ hónap után kell elvégezni, melynek humánerőforrás igénye 100 fő/óra, mely a gyakorlatban 2 nap alatt végezhető el. [15] [31]

A **célirányos átvizsgálások** és ellenőrzések szükségességét a következők indokolják:

- időjárási és klimatikus viszonyok különbözősége, változékonysága;
- az üzemeltetés során felmerülő tervezési vagy gyártási hiányosságok;
- az üzembentartási szabályok be nem tartása;
- az üzembentartási állomány kiképzettségének foka, tapasztaltsága stb.

A **műszaki-technikai állapotfelmérések** és az azt követő javító - helyreállító munkálatok a technikai kiszolgálások rendszerében egy teljesen új elemként épülnek be. Ez váltja fel az eddigi gyakorlat szerinti gyári, nagy, közepes és profilaktikus javításokat, melynek a ***legfőbb célja az ellenőrzés*** és csak szükség esetén kell végezni a javító - helyreállító munkálatokat.

Az első ellenőrzésre javasolt üzemidő ciklus 1000 repült óra vagy 20 év. [15] [32]

A Magyar Honvédség MiG-29 típusú repülőgépei állapot szerinti üzembentartásra történő áttérése óta a diagnosztikai képességeink magas színvonalának, felkészültségünknek és eredményeinknek köszönhetően ma már ez a ciklusidő 1400 órára nőtt. Ez 40%-os üzemidő nyereséget és jelentős erőforrás megtakarítását jelent. A **javító - helyreállító tevékenység** alapvetően javítás, nagy-javítás és az elemek, illetőleg berendezések cseréjéből áll. Ez csak úgy válhatott Magyar Honvédségnél, ezen belül is a Légijármű javítóüzemnél lehetővé, hogy az üzemeltető állományunk már hosszú ideje nem csak képes alkalmazni a korszerű roncsolásmentes anyagvizsgálati módszereket, diagnosztikai eszközöket, hanem fejleszti is azokat. Így megalapozott, kellő mélységű, nagy pontosságú és megbízhatóságú műszaki-technikai állapotfelméréseket végeznek, amit magas szintű javításokkal, helyreállítással képesek befejezni

Javító - helyreállító munkálatok:

- **ÁLLANDÓ,** ami a konstrukciós elemek cseréjét vagy javítását, a berendezések javítását akkor, ha elérték az aktuális hátralévő üzemidejük 80%-át, valamint a berendezések technikai állapotának felmérését jelenti. A kidolgozott munkapont felsorolást a gyártó határozta meg a „LIEDER" gépeink ellenőrzése, vizsgálata eredményei, az általunk tapasztaltak és javaslataink alapján.

[31] 153. oldal
[32] 154. oldal

- **VÁLTOZÓ,** ami döntően a műszaki-technikai állapot felmérések eredményeitől és az azok során tapasztaltaktól függ.
- **MODERNIZÁCIÓS**, módosító, helyesbítő munkálatok, közlönymunkák, innováció.

A technikai állapotfelmérés 180-200 fő/óra munkaráfordítással, 2-2,5 nap alatt hajtható végre, amit a szükségessé váló helyreállító munkálatok nélkül kell értelmezni. [15] [33]

Az állapot szerinti üzemeltetés két szinten valósul meg:

- **első szint** az operatív kiszolgálási formák, célellenőrzések melyeket az üzemben tartók (századok, egységek) végeznek el;
- **második szint** a periódikus kiszolgálási formák, állapotfelmérések és az ellenőrző – helyreállítási tevékenységek, amit a javító szervezetek, amit a Magyar Honvédség esetében a feladatra jól felkészült és felszerelt, „auditált" laboratóriumokkal rendelkező Légijármű Javítóüzem végez.

A véglegesített és javasolt üzembentartási séma összefoglalva:

- operatív kiszolgálások;
- célellenőrzések;
- a periódikus ellenőrzések 200 óránként vagy 24 hónaponként;
- a technikai állapotfelmérések:
  - 1000 óránál vagy 20 év után;
  - 2000 óránál vagy 25 év után;
  - 3000 óránál vagy 30 év után;
  - 3500 óránál vagy 35 év után.

Egészen **n•1000 óráig** vagy **n•10 év naptári üzemidő lejártáig**

Ahol az **n = 3-5** [15] [34]

Emlékeztetőül - az eredeti össztechnikai üzemidő 2500 óra vagy 20 év volt.

Gazdaságossági mutatók:

A MiG-29-es típusú repülőgépek állapot szerinti üzemeltetése gazdaságosságának értékelését az egy repült órára eső költségek összehasonlítása alapján végeztem el. Költségelemek:

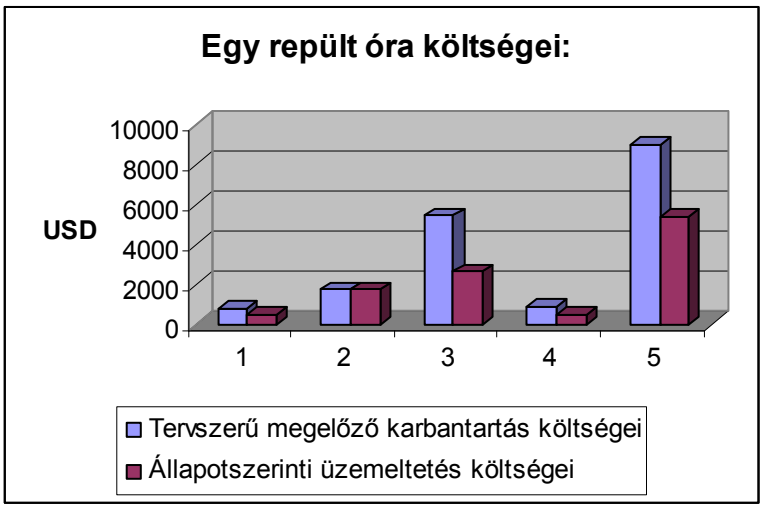
- a kiszolgáló állomány személyi és bérköltségei;
- kenő- és üzemanyag költségek;
- az üzemképesség fenntartásának, biztosításának költségei;
- a földi kiszolgáló eszközök fenntartási költségei.

A különböző üzembentartási filozófiák egy repült órára jutó költségeinek összehasonlítását az 4.1. számú táblázatban és az 4.1. számú ábrán mutatom be. [15] [35]

4.1 táblázat

[33] 156. oldal
[34] 166. oldal
[35] 158. oldal

Költségelemek megnevezése	MiG-29 egy repült órára eső költsége:				A költségek csökkenése %-ban
	Tervszerű megelőző karbantartás költségei		Állapotszerinti üzemeltetés költségei		
	USD	Összköltség %-ban	USD	Összköltség %-ban	
a személyi állomány bérköltségei	813	9, 3	491	9, 0	39, 6
a kenő és üzemanyagköltségek	1767	19, 7	1767	32, 6	0, 0
az üzemképesség fenntartásának költségei	5444	60, 8	2657	49, 0	51, 2
a földi kiszolgáló eszközök fenntartási költségei	920	10,2	497	9, 4	46, 0
ÖSSZESÍTETT KÖLTSÉGEK:	**8944**	100, 0	**5412**	100, 0	**39, 5**



Ahol:
1. a személyi állomány bérköltségei;
2. a kenő és üzemanyagköltségek;
3. az üzemképesség fenntartásának költségei;
4. a földi kiszolgáló eszközök fenntartási költségei;
5. **ÖSSZESÍTETT KÖLTSÉGEK**.

4.1 ábra A különböző üzembentartási filozófiák egy repült órára jutó költségeinek összehasonlítása

Az 4.1. sz. táblázat és az 4.1. sz. ábrán látható, hogy az állapot szerinti üzembentartásra való áttéréssel a repülőgépek üzembentartási költségei közel 40%-kal csökkentek.

A ipar javítások humán erőforrás igényének csökkenése, a közvetlen kiszolgálás egyszerűsödése következtében a személyi és bérköltségek 39,6%-kal lettek kevesebbek.

Az üzemképesség biztosításának költségei 51,2%-kot, a földi kiszolgáló eszközök fenntartási költségei pedig 46%-kot estek.

KIJELENTHETŐ, HOGY AZ ÁLLAPOT SZERINT ÜZEMBENTARTÁSI FILOZÓFIA BEVEZETÉSÉVEL AZ ÁTLAGOS KÖLTSÉGCSÖKKENÉS 34,2%-OT ÉRHET EL.

A költségek csökkenésének fő okai:

- a jelentős humán és materiális erőforrásokat igénylő ipari javítások megszüntetése, a megbízható ellenőrző és diagnosztikai eszközök és módszerek alkalmazása;
- a közvetlen kiszolgálási tevékenység egyszerűsítése a szükséges munkaráfordítások csökkentése;
- az ellenőrzések megbízhatósági szintjének növekedése lehetővé tette a javítás közi üzemidők megnövelését, ezzel a szükséges berendezés és elemcserék számának csökkenését.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Frolkov A.I.: A technikai kiszolgálási stratégia kiválasztásának kritériumai a programok meghatározásához. A repülőgép sárkányszerkezete állapotszerinti üzemeltetésének sajátosságai. Tudományos Módszertani Válogatások Állami Egyesített Kiadója. Kiadási szám: 75360; Moszkva 1993.
[2] Vakuljuk V.I.: A repülőgép fedélzeti rendszerei állapotszerinti üzemeltetésének sajátosságai. Tudományos Módszertani Válogatások Állami Egyesített Kiadója. Kiadási szám: 75360; Moszkva 1993.
[3] Gromov M.M. Légi Vizsgálatok Intézete: A különböző rendeltetésű harci repülőgépek állapotszerinti üzemeltetésre való alkalmasságának meghatározási módszertana. Tanulmány. Tudományos Módszertani Válogatások Állami Egyesített Kiadója. Kiadási szám: 75360; Moszkva 1993.
[4] Gromov M.M. Légi Vizsgálatok Intézete: A harci repülőeszközök állapotszerinti üzemeltetésének helyzete. Tanulmány. Tudományos Módszertani Válogatások Állami Egyesített Kiadója. Kiadási szám: 75360; Moszkva 1993.
[5] Frolkov A.I.: Katonai repülőgépek sárkányszerkezete élettartamának és üzemideje ledolgozásának értékelési módszertana az üzemeltetés során. A technikai kiszolgálási stratégia és az ellenőrzések periodicitásának kiválasztási kritériumai. Zsukovszkij Repülőmérnöki Akadémia „Technikai Tudományok Doktora" Tudományos értekezés. Tudományos Módszertani Válogatások Állami Egyesített Kiadója. Kiadási szám: 75360; Moszkva 1993.
[6] Maslennikov V.G.: A manőverező repülőgépek sárkányszerkezete hegesztett elemei túlterheltség szintje alapján történő üzemidő meghatározás módszertana. Zsukovszkij Repülőmérnöki Akadémia „Kandidátusi" Tudományos értekezés. Tudományos Módszertani Válogatások Állami Egyesített Kiadója. Kiadási szám: 75360; Moszkva 1988.
[7] David Brook: Az anyagsérülés mechanikájának alapjai. Tankönyv (Felsőfokú tanulmányokhoz) 1980.
[8] Beda P.I.; Glazkov J.A.; Selihov G.S.; stb. A repülőtechnika üzemeltetése során elvégezhető alkatrész- defektoszkópia. Katonai kiadó („Vojenizdat") folyóirata Moszkva 1978.
[9] Kljuev V.V.: Roncsolásmentes anyagvizsgálat és diagnosztika. „Masinostroenie" kiadó Moszkva 1995.
[10] Makarov V.A.; Hargaev V.M.: A szárnyak hajlító-nyomatékai ismétlődésének meghatározása. (MiG-29) Beszámoló jelentés № 1064-9.12-5/92 Moszkva.
[11] Makarov V.A.: A Luftvaffe MiG-29 típusú repülőgépei túlterhelési szintjének elemzése. Beszámoló jelentés № 1073-9.12-1/2001 Moszkva.
[12] Makarov V.A.: Regressziós modell a MiG-29 típusú repülőgépei túlterhelési szintjének kiértékeléséhez. Beszámoló jelentés № 1076-9.12-9/94 Moszkva.
[13] Vizsgálatok a katonai repülőgépek üzemidő hosszabbítására. Tudományos cikk. „Aerokosmicseskije Novostyi" № 13 (168. oldal) 2000. március 22-23. Moszkva.
[14] Smirnov A.A; Ickovics A.A.: A repülőtechnika állapotszerinti üzemeltetése és javítása. „Transport" kiadó Moszkva 1987. (második átdolgozott kiadás).
[15] Slobodskij A.B; Eregin V.V. Mikojan tervezőiroda és az RSZK MiG beszámoló jelentés a HUAF (Magyar Légierő) Mig-29 repülőgépei állapotszerinti üzemeltetésre történő áttérés biztosításáról. Moszkva 2002. március 18.
[16] A katonai repülőgépek technikai kiszolgálásával és javításával szemben támasztott általános követelmények. Az üzembentartás jellemzői. Válogatás. Kiadási szám: 6405; Moszkva 1991.
[17] Gromov M.M. Légi Vizsgálatok Intézete: A katonai repülőgépek fedélzeti rendszerei technikai kiszolgálásának, javításának tervezési módszertana. Moszkva 1985.
[18] Barzilovics E.J.; Voskobojev V.F.: Repülőgép rendszerek állapotszerinti üzemeltetése. „Transport" kiadó Moszkva 1987.
[19] Masayuki Ibusiki Aircraft Maitenance by means of Operation Monitoring System. Japan Soc. Aeronaut. and Spaces №333 1981.
[20] Marks P.A. Design for Economy. „Aircraft Eng." 53, № 3 1981.
[21] Collin G. La maintenance des moteurs: des budgets trés lourds. „Air et Cosmos" 18, № 846, 1981.
[22] Depuis Jean Pierre stb On Cindition Maintenance FMW Sveden; 1990.
[23] Katonai repülőgépek legésszerűbb technikai kiszolgálási stratégiájának módszertani meghatározása. Második, átdolgozott kiadás (№ 6883); Kiadási szám: 75360; Moszkva 1995.

[24] Repülőgépek és helikopterek sárkányszerkezete és hajtóműveik modern, az állapotszerinti üzemeltetési rendszerre történő áttérést elősegítő, technikai kiszolgálás módozatai. Tudományos kutatások eredményeit összefoglaló beszámoló jelentés. Kiadási szám: 75360; Moszkva 1993.
[25] Dr. Jorge A. Moreno Barragan Engine Vibration Monitoring and Diagnosis Based on On-Board Captured Data. **NATO Symposium** on AGING MECHANISMS and CONTROL Part: „Monitoring and Management of Gas Turbine for Extended Life and Reduced Costs"Manchester 2001. október 08-12
[26] MC Gowan; Reither Livier; Depuis jean pierre; Takeda Nobuo stb **.** Structural health monitoring methodology for aircraft condition-based maintenance. 1992.
[27] Shah Jivan B. Failure Analyses of Arcraft Accidents Part II. Metals Eng. Quart. 1974 №14p.4
[28] Keba I.V. Repülőeszközök Gázturbinás Hajtóművei Diagnosztikája „Transzport"1988 [29] N.N. Szmirnov A repülőtechnika állapotszerinti kiszolgálása és nagyjavítása „Transzport" Kiadó Moszkva 1987.
[29] Parányi György Minőséget gazdaságosan Műszaki Könyvkiadó 1999.
[30] Kemény Sándor Statisztikai Minőség Műszaki Könyvkiadó 1999.
[31] Dr. Keszthelyi Gyula A hatásalapú műveletek logisztikával szemben támasztott újszerű kihívása Doktori (PhD) értekezés 2008.
[32] Dr. Turcsányi Károly A fegyverzeti eszközök tervezői, üzemeltetői és fenntartói követelmények és feltételek rendszerének részletes elemzése Doktori (PhD) értekezés
[33]http://www.mtt.bme.hu/oktatas/segedanyagok/anyagszerkezettan_es_anyagvizsgalat/gyakorlat/toresmechanika.pdf
[34] http://www.anyagvizsgaloklapja.hu/UserFiles/File/2008/2/e_AVL_2008_2_06_Szucs.pdf
[35] http://hu.wikipedia.org/wiki/Poisson-t%C3%A9nyez%C5%91
[36] http://gt3.bme.hu/oktatas/BsC/GEAGG1_Gepelemek_1/labor.pdf
[37] http://www.sze.hu/am/oktatas/letoltendok/laborgyakorlat/Mechanika-Szilardsagtan/Nyulasmeres/Nyulasmeres.pdf
[38] http://doapc14.iit.uni-miskolc.hu/education/EXPERT/G9/g9_1.pdf
[39] http://mek.oszk.hu/01100/01183/01183.pdf
[40] http://www.kfki.hu/~anyag/tartalom/2000/jul/aktualis/LukacsJanos-m.htm
[41]http://www.mtt.bme.hu/oktatas/segedanyagok/anyagszerkezettan_es_anyagvizsgalat/gyakorlat/megoldott_feladatok.pdf
[42] http://free.x3.hu/turbowin/sze/info/BMEmech2.pdf
[43] http://vmek.oszk.hu/01100/01177/01177.pdf
[44] http://www.eolss.net/outlinecomponents/Thermal-Mechanical-Energy-Conversion-Engines-Requirements.aspx
[45] http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bhu/hun/02-applications/01-wear-tribology/indexW3DnavidW263.php
[46] http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/rontgen.pdf
[47] http://mek.oszk.hu/01100/01189/01189.pdf
[48]http://www.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/fmk/tgyi/letoltesek/jegyzetek/minosegtervezes/hibamod_es_hatatelemzes2.pdf
[49] „VÉGVÁR" Kutatás-fejlesztési program AID 250/996 (Olajok aktivációs analitikai, tribológiai vizsgálatai)
[50] Endrőczi Gábor (CEAT Kft) **„**SINUS"; MiG-21; MiG-23, később a „RÉVHÁZ" A MiG-29, kutatás-fejlesztési program összefoglaló dokumentáció 2003. november "A Rezgésdiagnosztikai Mérő és Elemző Rendszer MIG-29 Típusú Repülőgépek RD-33 típusú Hajtóművei Műszaki Állapotának Meghatározására"
[51] Kavas L. – Dr. Békési L. – Vonnák I. P.: Roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek alkalmazásának tapasztalatai "Új évezred, új technológia" Tudományos konferencia, Szolnok, ZMNE BJKMK RMI, 2006. április 21. (CD adathordozón kiadva)
[52] Gyenes G.-Svehlik J. A roncsolásmentes anyagvizsgálatok (Non-Destructive Evaluation) szerepe és jelentősége a légijárművek állapotfelmérésében, üzemidő hosszabbításában és állapotszerinti üzemeltetésében "Új évezred, új technológia" Tudományos konferencia, Szolnok, ZMNE BJKMK RMI, 2006. április 21. (CD adathordozón kiadva)
[53] Parányi György Minőséget Gazdaságosan Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1999 ISBN 963 16 30331; ISSN 1419-4376
[54] Dr Rohács József; Simon István Repülőgépek és Helikopterek üzemeltetési zsebkönyve Müszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989 (ISBN: 963 10 714 7)
[55] Dr. Gillemot László Anyagszerkezettan és Anyagvizsgálat Tankönyvkiadó, Budapest. 1976 (ISBN 963 17 1670 8)
[56] http://www.mtt.bme.hu/oktatas/segedanyagok/anyagismeret/eloadas/tores_ais_09.pdf (2010. márc.)
[57] http://free.x3.hu/turbowin/sze/info/BMEmech2.pdf (2010 február)

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Vonnák Iván Péter

THE WEAR PARTICLE ANALYSIS IN THE OIL IS ONE OF TOOLS OF AIRCRAFT MAINTENANCE ON CONDITION

ABSTRACT

Wear particle analysis and Ferrography in particular is an effective mean to identify and respond to maintenance needs. The development of this technology includes image analysis, on-line sensors, Ferrogram Scanners, portable screening tools, automated oil analysis screening tools. Wear is the inevitable consequence of surface contact between machine parts such as shafts, bearings, gears, and bushing even in properly lubricated systems. Equipment life expectancies, safety factors, performance ratings and maintenance recommendations are predicated on normally occurring wear. However, such factors as design complexity, unit size, intricate assembly configurations, and variations in operating conditions and environments can make maintenance or repair needs (ordinary or emergency) difficult to evaluate or detect without taking equipment out of service.

Modern integrated and automated high-speed machine systems as aircraft, make any interval of downtime costly and non-productive. This is why non-interceptive diagnostic techniques such spectrometric oil analysis, vibration analysis, motor current analysis, and ferrography (wear particle analysis) are increasingly being applied in the power, process, semiconductor and manufacturing industries. Aircraft designers and builders are increasingly using wear analysis as a realistic criterion for improvements in products and maintenance on condition such as compressors, gears, bearings and turbine components. This overview will describe the wear particle analysis technology and it's effect working with other predictive maintenance [2][1]tools of aircraft (combat planes and fighters). [6]

WEAR PARTICLE ANALYSIS (WAP) / FERROGRAPHY (FG)

Ferrography is a technique that provides microscopic examination and analysis of wear particles separated from all type of fluids. The predictive maintenance (condition monitoring) technique, it was initially used to

[1] Predictive maintenance (PdM) is a condition-based maintanence, attempts to evaluate the condition of equipment by performing periodic or continuous (online) equipment condition monitoring. The ultimate goal of PdM is to perform maintenance at a scheduled point in time when the maintenance activity is most cost-effective and befor the equipment loses performance within a threshold.

magnetically precipitate ferrous wear particles from lubricating oils.
This technique successfully makesuse of monitoring the condition of military aircraft engines, gearboxes, and transmissions. That success has prompted the development of other applications, including modification of the method to precipitate non-magnetic particles from lubricants, quantifying wear particles on a glass substrate (Ferrogram) and the refinement of our grease solvent utilized in heavy industry today.
The major types of equipment used in wear particle analysis:

- Direct-Reading (DR) Ferrograph;
- Analytical Ferrograph System;
- Ferrogram Scanner.

Direct Reading (DR) Ferrograph

The DR Ferrograph Monitor is a trending tool that permits condition monitoring through examination of fluid samples on a scheduled, periodic basis. It is a compact, portable instrument that is easily operated even by a non-technical personnel, the DR Ferrograph quantitatively measures the concentration of ferrous wear particles in a lubricating or hydraulic oil. The DR Ferrograph provides for analysis of a fluid sample by precipitating particles onto the bottom of a glass tube that is subjected to a strong magnetic field. Fiber optic bundles direct light through the glass tube at two locations where large and small particles are deposited by the permanent magnet. At the onset of the test, before particles begin to precipitate the instrument is automatically "zeroed" with a microprocessor chip as the light passes through the oil to adjust for its opacity. The light is reduced in relation to the number of particles deposited in the glass tube, and this reduction is monitored and displayed on a LCD panel. Two sets of readings are obtained: one for Direct Large > 5 microns (DL) and one for Direct Small < 5 microns (DS) particles. Wear Particle Concentration is derived by adding DL + DS divided by the volume of sample, establishing a machine wear trend baseline.
Aircraft engines starting service go through a wearing in process, during which the quantity of large particles quickly increases and then settles to an equilibrium concentration during normal running conditions. A key aspect of ferrography is that machines wearing abnormally will produce unusually large amounts of wear particles indicating excessive wear condition by the DR Ferrograph in WPC readings. If WPC readings are beyond the normal trend a Ferrogram sample slide is made with the fluid for examination by optical microscopy.

The Analytical Ferrograph (AN)

Additional information about a wear sample, can be obtained with the Analytical Ferrograph system, instruments that can provide a permanent record of the sample, as well as analytical information. The Analytical Ferrograph is used to prepare a Ferrogram -- a fixed slide of wear

particles for microscopic examination and photographic documentation. The Ferrogram is an important predictive tool, since it provides an identification of the characteristic wear pattern of specific pieces of equipment. After the particles have been deposited on the Ferrogram, a wash is used to flush away the oil or water-based lubricant. After the wash fluid evaporates, the wear particles remain permanently attached to the glass substrate and are ready for microscopic examination.

The Microscope

Ferrograms are typically examined under a microscope that combines the features of a biological and metallurgical microscope. Such equipment utilizes both reflected and transmitted light sources, which may be used simultaneously. Green, red, and polarized filters are also used to distinguish the size, composition, shape and texture of both metallic and non-metallic particles.

TYPES OF WEAR PARTICLES

There is six basics wear particle types generated through the wear process. These include ferrous and nonferrous particles a comprises:

1. **Normal Rubbing Wear**: Normal-rubbing wear particles are generated as the result of normal sliding wear in a machine and result from exfoliation of parts of the shear mixed layer. Rubbing wear particles consist of flat platelets, generally 5 microns or smaller, although they may range up to 15 microns depending on equipment application. There should be little or no visible texturing of the surface and the thickness should be one micron or less.
2. **Cutting Wear Particles**: Cutting wear particles are generated as a result of one surface penetrating another. There are two ways of generating this effect.
   - a relatively hard component can become misaligned or fractured, resulting in hard sharp edge penetrating a softer surface. Particles generated this way is generally coarse and large, averaging 2 to 5 microns wide and 25 microns to 100 microns long;
   - Hard abrasive particles in the lubrication system, either as contaminants such as sand or wear debris from another part of the system, may become embedded in a soft wear surface (two body abrasion) such as a lead/tin alloy bearing. The abrasive particles protrude from the soft surface and penetrate the opposing wear surface. The maximum size of cutting wear particles generated in this way is proportional to the size of the abrasive particles in the lubricant. Very fine wire-like particles can be generated with thickness as low as 25 microns. Occasionally small particles, about 5 microns long by 25 microns thick, may be generated due to the presence of

hard inclusions in one of the wearing surfaces.

Cutting wear particles are abnormal. Their presence and quantity should be carefully monitored. If the majority of cutting wear particles in a system are around a few micrometers long and a fraction of a micrometer wide, the presence of particulate contaminants should be suspected. If a system shows increased quantities of large (50 micrometers long) cutting wear particles, a component failure is potentially imminent.

3. **Spherical Particles**: These particles are generated in the bearing cracks. If generated, their presence gives an improved warning of impending trouble as they are detectable before any actual spalling occurs. Rolling bearing fatigue is not the only source of spherical metallic particles. They are known to be generated by cavitation erosion and more importantly by welding or grinding processes. Spheres produced in fatigue cracks may be differentiated from those produced by other mechanisms through their size distribution. Rolling fatigue generates few spheres over 5 microns in diameter while the spheres generated by welding, grinding, and erosion are frequently over 10 microns in diameter.
4. **Severe Sliding**: Severe sliding wear particles are identified by parallel striations on their surfaces. They are generally larger than 15 microns, with the length-to-with thickness ratio falling between 5 and 30 microns. Severe sliding wear particles sometimes show evidence of temper colors, which may change the appearance of the particle after heat treatment.
5. **Bearing Wear Particle**: These distinct particle types have been associated with rolling bearing fatigue:
    - Fatigue Spall Particles constitute actual removal from the metal surface when a pit or a crack is propagated. These particles reach a maximum size of 100 microns during the microspalling process. Fatigue Spalls are generally flat with a major dimensions-to-thickness ratio of 10 to 1. They have a smooth surface and a random, irregularly shape circumference.
    - Laminar Particles are very thin free metal particles with frequent occurrence of holes. They range between 20 and 50 microns in major dimension with a thickness ratio of 30: 1. These particles are formed by the passage of a wear particle through a rolling contact. Laminar particles may be generated throughout the life of a bearing, but at the onset of fatigue spalling, the increases are quantity generated. An increasing quantity of laminar particles in addition to spherical wear is indicative of rolling-bearing fatigue microcracks.
6. **Gear Wear**: Two types of wear have been associated with gear wear:
    - Pitch Line Fatigue Particles from a gear pitch line have much in common with rolling-element bearing fatigue particles. They generally have a smooth surface and are frequently irregularly shaped. Depending on the gear design, the particles usually have a major dimension-to-thickness ratio between 4:1 and 10:1. The chunkier particle result from tensile stresses on the gear surface causing the fatigue cracks to propagate deeper into the gear tooth prior to spalling.

- Scuffing or Scoring Particles is caused by too high load and/or speed. The particles tend to have a rough surface and jagged circumference. Even small particles may be discerned from rubbing wear by these characteristics. Some of the large particles have striations on their surface indicating a sliding contact. Because of the thermal nature of scuffing, quantities of oxide are usually present and some of the particles may show evidence of partial oxidation, that is, tan or blue temper colors.

Other particle types are also present and generally describe particle morphology or origin such as chunk, black oxide, red oxide, corrosive, etc. In addition to ferrous and non-ferrous, contaminant particles can also be present and may include: Sand and Dirt, Fibers, Friction polymers, and Contaminant spheres.

Contaminant particles are generally considered the single most significant cause of abnormal component wear. The wear initiated by contaminants generally induces the formation of larger particles, with the formation rate being dependent on the filtration efficiency of the system. In fact, once a particle is generated and moves with the lubricant, it is technically a contaminant.

USED OIL ANALYSIS (UOA)

1. Used Oil Analysis (UOA) techniques include a light-emission spectrometry test for dissolved elements in the oil (particles generally no greater than 5-7 microns in size);
2. Fourier transform infrared spectrometer analysis (FTIR) are for physical and chemical changes in the oil;
3. Kinematic Viscosity tests to determine oil viscosity degradation, various chemical titration's to determine depletion of alkaline reserve or build up of oil acidity (TAN & TBN), and chemical or distillation processes to determine water content.

Spectrometric Elemental Analysis

Spectrometric methods include atomic absorption (AA), atomic emission spectroscopy (AES), and inductively coupled plasma emission spectrometer (ICP). Of these methods, atomic emission spectroscopy and induced couple plasma, which rely on the detection of light emitted by the elements, are the most popular because of cost, speed and other factors.

Fourier Transform Infrared Spectrometer

FTIR is widely used to determine water and coolant contamination of the lubricant, as well as to identify and monitor the depletion of additives and the buildup of oxidation products. A differential spectrum can be obtained by subtracting the spectrum of the new lubricant from that of the used lubricant to clearly reveal the area of change.

Viscosity

Probably the most important single property of a lubricating is its viscosity. It is a factor in the formation of lubricating films under both thick and thin film conditions. It affects heat generation in bearings, cylinders, and gears; it governs the sealing effect of the oil and the rate of consumption or loss; and it determines the ease with which machines may be started under cold conditions. For any piece of equipment, the first essential for satisfactory results is to use oil of proper viscosity to meet the operating conditions. A decrease in viscosity may indicate contamination with a solvent or fuel or with lower grade viscosity oil. An increase may indicate lube oxidation or contamination with a higher-grade viscosity.

Total Acid Number (TAN)

Acidity indicates the extent of oxidation of a lubricant and its ability to neutralize acids from exterior sources such as combustion gases. The acidity of lubricants is measured by the amount of potassium hydroxide required for neutralization (mg KOH/g) and the resultant number is called the TAN (total acid number). The additives in most new oils contribute a certain TAN or acidity, therefore, it is critical to determine and monitor changes from new oil reference. An increase in TAN may indicate lube oxidation or contamination with an acidic product. A severely degraded lubricant indicated by a high TAN may be very corrosive.

Water Testing[2]

This test produces iodine when electricity is conducted across a mesh screen. The electrical current needed to create iodine and remove existing water is measured and converted to parts per million (ppm). Quantification of water contamination - water in a lubricant not only promotes corrosion and oxidation, but also may form an emulsion having the appearance of a soft sludge.

Passport System V Software and Instruments

The combination and enhancement of WPA and UOA within the past few years have been oriented towards managing a predictive maintenance program efficiently with the advent of software and high tech tools. Of the recent development of the Passport System V software and instrumentation allows the user to incorporate all different types of predictive maintenance tools with a customized approach. The Passport System V is sophisticated, yet simple to use, state of the art data management and report writing tool, which provides users the most advanced capability available for computerized storage, comparison data, and evaluation of lube and wear data. The software design makes the creation of tables, charts, digitized pictures, drawings, and

[2] by Karl Fischer

qualitative reports, previously produced manually, a faster and easier task, with more accurate results.
The Passport System V incorporates a video camera to capture and transmit the particle image magnified on the microscope to a personal computer. The data management features enable the technician to rapidly prepare a report and compare the current machine condition with the previous analysis history. The computer screen acts as a regular display for report writing or reviewing information, while another part of the screen high resolution images are displayed from the microscope or from earlier reports, or pictures from the Wear Particle Atlas. With these combined features and having predictive maintenance information at the fingertips allows the technician to provide a comprehensive report with quality condition monitoring recommendations.
The Passport System V is a significant enhancement to predictive maintenance monitoring. The data management capability is obviously valuable to aviation and industry today. The technology to capture, digitize, transfer, and store images has progressed rapidly such that the quality is now equal or even better than still photography. The system enables the user to establish their own predictive maintenance reference guides for their aircraft.

Diesel Applications

Wear particle analysis for diesel engines has been used in conjunction with other test methods, usually spectrometric analysis with superior results. As in other oil lubricated equipment, wear is an indicated by increasing amounts of particles and by changes in particle size distribution, composition, and morphology. The effects of engine operating conditions on the wear of cylinders' liners, piston rings, and crank-shaft main bearings have been successfully observed by both wear particle and used oil analysis.
For diesel engines, heat treatment of the ferrograms distinguishes temper colors between low alloy (crank-shafts) and cast iron (piston rings and cylinder liners), depending, of course, on the specific engine metallurgy. Although ferrous particles are primarily analyzed, other particles such as lead may be partially retained and has been used to follow main bearing wear. Normal Oil samples & ferrograms from diesel engines generally show only small rubbing wear particles and low iron levels on the spectrometric analysis test. A light deposit of corrosive wear debris at the ferrogram exit is typical. Diesels are exposed to acid conditions caused primarily by sulfur-containing fuels. In any case, the TAN testing process would confirm the acidity of the diesel lubricant.
Common wear problems in diesels are bore polishing, in which the cylinder wall is polished in spots to a mirror finish, and ring wear. Both of these problems are associated with piston deposits to some degree. This wear mechanism results in an increase in wear debris and that is detectable by both wear particle analysis and spectrometer.

Aircraft Jet Engines (gas turbines)

Aircraft jet engines are subject to various failure mechanisms. Some of these failure modes proceed very rapidly, whereas others can be detected hundreds of operating hours before a shutdown condition is reached. Most failures of gas turbines occur in gas path. Gas-path failures frequently, but not always, cause an increase in wear particle size and concentration in the oil system, probably due to the transmittal of imbalance forces to turbine bearings and other oil- wetted parts. The resulting bearing or gear wear is then detected by both Used Oil Analysis and Wear Particle analysis.

Determining the exact source of wear problem can be difficult in a gas turbine because of complexity of the oil-wetted path. Typically several cavities, housing bearings, or gears will be force lubricated through individual return lines connected to a tank from which the oil is pumped (at a high rate), then pass through a filter and heat exchanger, and the cycle repeated. Magnetic chip detectors or magnetic plugs are often installed in the return lines from various engine parts. These can help to pinpoint the source of generation in cases where particle metallurgy, as determined by heat-treating ferrograms, is similar for various engine parts. However, chip detectors will not give a warning until the wear situation is so severe that extremely large particles are being generated. By this time, the opportunity for predictive maintenance may be lost. Other analytical techniques, such as vibration analysis, may help to pinpoint the part in distress utilizing expert system software that provides recommendations for action. In any case, predictive maintenance tools integrated together offer the maintenance engineer the best decision making tool.

CONCLUSION

The benefit of automation is in the use computer programs and emerging software technologies of artificial intelligence to assist in determining when to remove equipment from service for maintenance. For example, an advanced system, which integrates emerging technologies in vibration, motor current analysis, thermography, ultrasonics, electronics, microprocessing, graphics, and data management, could regularly sample a number of machines. From a sampling device, compare the samples to previous samples for trend information (along with other Data parameters), make the decision to schedule the machine for maintenance, generate a work order for the maintenance team and send a purchase / work order to accounting for needed repair parts.

The maintenance manager / engineer could have almost instantaneous reports on the condition of each machine, along with a dollar figure indicating the optimal dates for shutdown and other maintenance requirements.

Technology advances oriented toward maintaining and incorporating all production data serve as an efficient assessment of manufacturing equipment. Companies as we know it today, can still afford many shutdowns due

to a tremendous amount of re-engineering or downsizing occurring worldwide. Therefore, predictive maintenance tools working in conjunction with production efficiency, analyzed through a cash flow model are the decisions making tools of today and tomorrow. [6]

BIBLIOGRAPHY OF WORKS REFERENCES

1. http://www.pmaint.com/?lang=en&nav=/services/tribologik 2010. április 28.
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Predictive_maintenance 2010. április 28.
3. http://books.google.hu/books?id=tAvTO1t2mwkC&printsec=frontcover&dq=predictive+maintenance&source=bl&ots=azwLYT5MAs&sig=v2KC80FHSdf4yN3NP9sylqDphb8&hl=hu&ei=WwLYS7zIJsYOOWW4fMG&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CBMQ6AEwAzgK#v=onepage&q&f=false 2010. április 28
4. http://www.lce.com/pdfs/Life-Cycle-Institute-PMT-21.pdf 2010. április 28
5. http://www.reliableplant.com/Read/19701/data-analysis-predictive-maintenance2010 április 28.
6. http://www.shscience.co.kr/image/ana/predict-dli/pdf/predictive_maintenance.pdf 2010. április 28
   (Dr. Regan Silvestri, Robert Shinn, Vernon Westcott, Bill Hoskins, and Dan Anderson)

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA 2010 SZOLNOK
60 ÉVES A SZOLNOKI REPÜLŐTISZTKÉPZÉS
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010. ÁPRILIS 16.

Dr. Wantuch Ferenc- Dr. Bottyán Zsolt- Deák Bianka

A LÁTÁSTÁVOLSÁG ÉS A KÖD RÖVIDTÁVÚ ELŐREJELZÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

BEVEZETÉS

A rossz látási viszonyok negatívan befolyásolják a repülési műveleteket. Főként a VFR szerinti repülés esetén okoz gondot a látástávolság hirtelen leromlása. Rossz látás esetén a repülőgépeknek alternatív repülőteret kell használniuk, amely extra üzemanyag fogyasztással jár, ugyanakkor veszélyes szituációt is jelent, amennyiben mégis a leszállás mellett dönt a személyzet. A látástávolság meghatározó csökkenését különböző fizikai hatások okozhatják, pl. köd, zápor, hózápor, por- és homokvihar stb. A tapasztalt észlelők tudják, hogy, melyik időjárási jelenség a legjellemzőbb oka a látás romlásának az adott szituációban, és egyszerűen megtanulják, a klimatológiai sajátosságait annak a területnek ahol dolgoznak. Ezért a klimatológiai háttér nagyon fontos, mert a numerikus időjárási előrejelzési modellek nem mindig olyan pontosak, amennyire az előrejelzők szeretnék (Hyvarinen et al., 2008). Különösen igaz ez a látástávolság paraméter esetén, melynek előrejelzése a repülésmeteorológia egyik legnagyobb kihívása napjainkban is.

A LÁTÁSTÁVOLSÁGRÓL ÉS A KÖDRŐL RÖVIDEN

Meteorológiai látás nappal: az a távolság, amelyen egy megfelelő méretű felszínhez közeli fekete tárgy látható és azonosítható az égbolt vagy a párás levegő hátterében.

Meteorológiai látás éjjel: az a távolság, amelyen egy megfelelő méretű fekete tárgy látható és azonosítható, ha a fényviszonyok megfelelnek a normális nappali értéknek, illetve az a távolság, amelyen az átlagos erősségű fényforrás látható és azonosítható (Gyuró, 2008).

A repülésben használatos látástávolságok:

- meteorológiai (vízszintes) látástávolság (Horizontal visibility).
- Futópálya menti látástávolság (Runway Visual Range, RVR): az a távolság, amelyről a futópálya középvonalán lévő légi jármű vezetője a futópálya felületi jelzéseit, vagy a futópálya szegélyfényeit, illetve a középvonalat jelző fényeket felismeri. Műszeresen mérik.
- Függőleges látástávolság (Veritical visibility): a repülőgépről vertikálisan lefelé észlelhető látástávolság.

- Ferde látástávolság (Slant visibility): a levegőben tartózkodó repülőgépről ferdén észlelhető látástávolság.

A *köd* a talaj közelében a levegőben lebegő kicsi vízcseppek vagy jégkristályok összessége, látható lefelé irányuló mozgás nélkül. Ködről akkor beszélhetünk, ha a vízgőz kicsapódása a talaj közelében megy végbe, és ha a látástávolság nem éri el a 1 km-t.

Ahhoz, hogy a levegőben a vízgőz kicsapódása meginduljon, két feltétel szükséges. Az egyik a kondenzációs magvak jelenléte. Ezzel nem foglalkozunk, mert gyakorlatilag mindig jelen vannak megfelelő mennyiségben. A másik feltétel hogy, a levegő vízgőzzel telített legyen. Ez azonban nem mindig teljesül.

A levegő a talaj közeli rétegekben különböző módon válhat telítetté:

- párolgás útján történő vízgőztartalom növekedésével;
- levegő harmatpontra való hűlésével;
- különböző hőmérsékletű, de telítéshez közelálló levegőfajták keveredésével;
- nedvesség advekció során.

Mindegyik folyamat eredményeképp kialakulhat köd, de a felsorolt tényezők általában együtt hatnak, viszont egyik vagy másik, döntő szerepet játszhat a folyamatban. Bizonyos erősségű légmozgás is hozzájárulhat a köd létrejöttéhez, mivel az ebből származó átkeveredés biztosítja a vízgőz kondenzációjának vastagabb rétegekre való kiterjedését. A túlságosan erős szél, azonban épp ellenkező hatást vált ki, ugyanis erős átkeveredést okoz, ami gátolja a telítettség bekövetkezését. A ködképződést, gyenge (néhány m/s-os) szelek segítik elő (Sándor és Wantuch, 2005).

MÓDSZEREK A LÁTÁSTÁVOLSÁG ÉS A KÖD ELŐREJELZÉSÉRE

A numerikus időjárás előrejelző modellek sok esetben jól használhatóak a különböző időjárási helyzetek előrejelzésére, viszont rossz látási viszonyok és köd előrejelzésére kevésbé megbízhatóak. Ennek oka főként az, hogy a helyi hatások és a planetáris határréteg komplex folyamatai nem ismertek teljes egészében és ráadásul gyakran szub-grid méretskálájú folyamatok, így a modellek nem tudják kezelni őket. Ezért a látástávolság előrejelzésére alkalmaznak statisztikai módszereket, tapasztalati ismereteket és konceptuális modelleket. Ezek a technikák nem mindig képesek megfogni a komplex folyamatokat, a köd keletkezését vagy megszűnését és általában csak egy adott régióra alkalmazhatóak.

Egyik lehetőség a ködöt és a látástávolságot befolyásoló tényezők még jobb megismerésére és az előrejelzések javítására a köd klimatológiai elemzése és a műholdas adatatok kiértékelése.

Egy másik lehetőség a 1D-3D modellek és valószínűségi előrejelzések használata. Ennél fontos, hogy feltérképezzék, melyek azok a folyamatok, amelyek meghatározó szerepet játszanak a köd kialakulásában és felelősek az előrejelzés pontosságáért.

Ahogy fentebb említettük, a modellek viszont többnyire nem tudják megfogni a lokális folyamatokat, amik elengedhetetlenek a köd fejlődése szempontjából. Ezek egy része vagy még nem megértett folyamat vagy modellezésük nagyobb számítógépes kapacitásokat igényelne.

E hiányosságok kiküszöbölésére a statisztikai módszereket találták alkalmazhatónak, melyek az adott hely sokéves ilyenek például a diagnosztikai modellek, döntési fa és neurális hálózatok alkalmazása (Niestovaara and Jacobs, 2008).

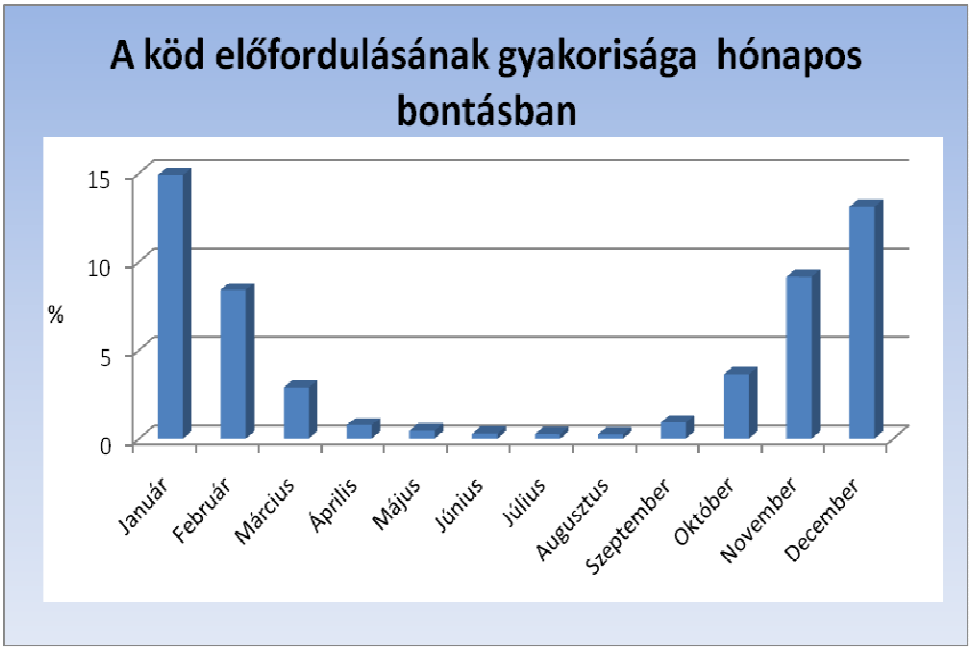
Ezen módszerek eredményei egymás fejlődését elősegítik, ezzel a látástávolság előrejelzésének hatékonyságát növelik.

A SZOLNOKI REPÜLŐTÉR (LHSN) KÖDKLIMATOLÓGIAI VIZSGÁLATA

A köd klimatológiai vizsgálatának fő célja, hogy jobban megértsük a köd természetét, és ezt a tudást felhasználva jobb előrejelzést készíthessünk.

A szolnoki repülőtér ködre és látástávolságra vonatkozó klimatológiai vizsgálatát végeztük el rendelkezésünkre álló 1991-2006 között óránként mért hőmérséklet, harmatpont, légnyomás, köd, szélsebesség, szélirány, felhőzettel való borítottság, látástávolság adatsorai alapján.

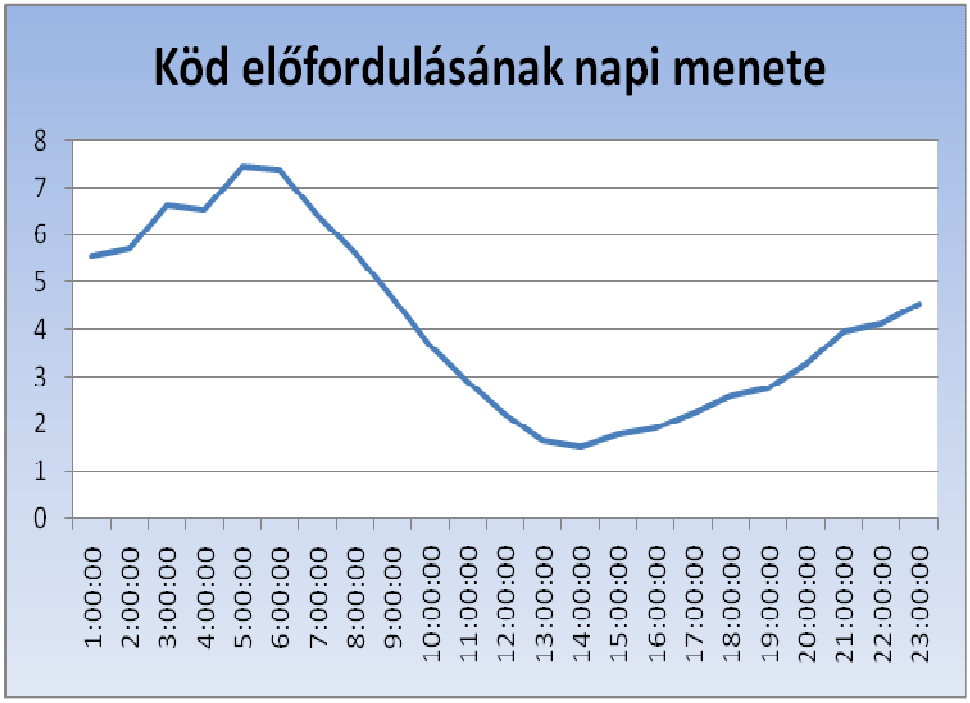
A teljes időszak alatt ködöt 6401 alkalommal észleltek. A köd észlelések előfordulásának aránya hónapos bontásban látható az 1. ábrán. Leggyakrabban novemberben, decemberben, januárban és februárban (1056, 1544, 1773 és 910 alkalommal) fordult elő. Ködöt legritkábban a nyári hónapokban (június, július és augusztus) észleltek (32, 30 és 28 alkalommal).



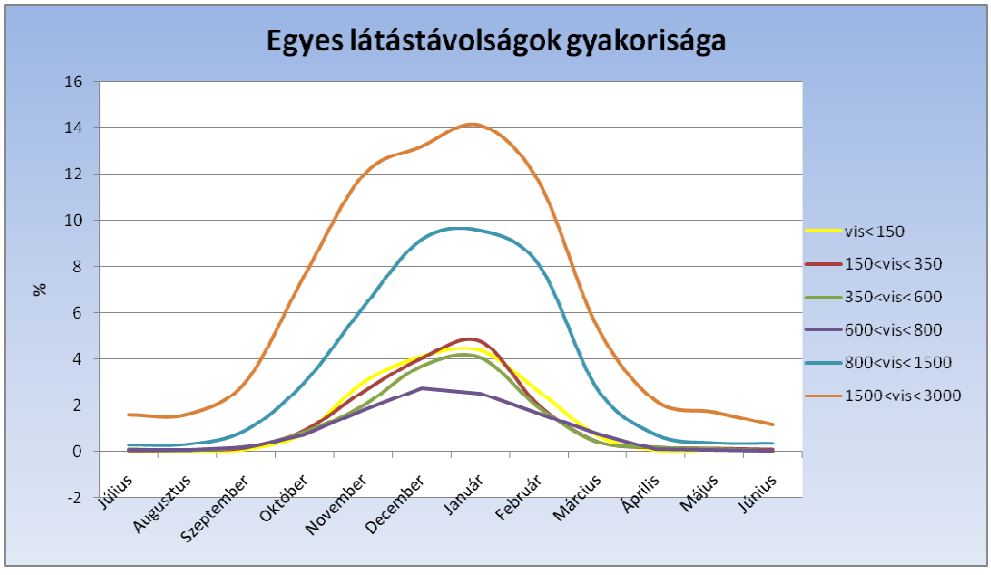
1. ábra. A köd előfordulásának gyakorisága hónapos bontásban a szolnoki repülőtéren 1991-2006

A köd előfordulásának a napi menetét (2. ábra) reggeli 5-6 órai maximum, és kora délutáni minimum jellemzi. Tudjuk, hogy a gyenge turbulencia elősegíti a ködképződést. A nappali konvekció, a szélsebesség és turbulencia növekedéséhez vezet, ami általában a köd feloszlását eredményezi, illetve éjjel a konvektív folyamatok visszaszorulnak, csökken a turbulencia, és ezek a feltételek kedveznek a ködképződésnek (Bakowski et al., 2008).

A 3. ábrán a látástávolságok gyakorisága látható, amelyekben a látástávolság kategóriákat az AMD TAF-ban (Terminal Area Forecast) meghatározott kategóriák alapján adtam meg. Ez az ábra is jól mutatja, hogy a rossz látástávolság a téli hónapokra jellemző.

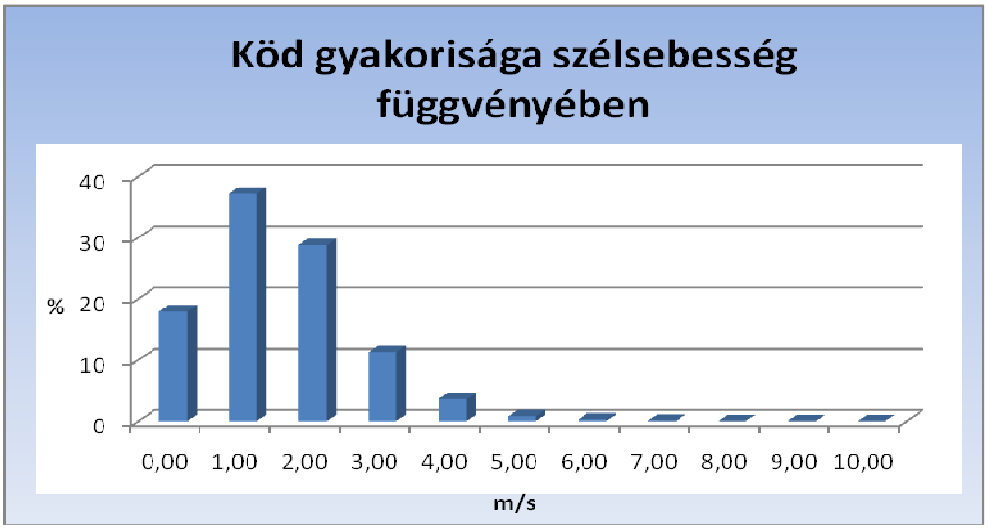


2. ábra. A köd előfordulásának napi menete a szolnoki repülőtéren 19991-2006



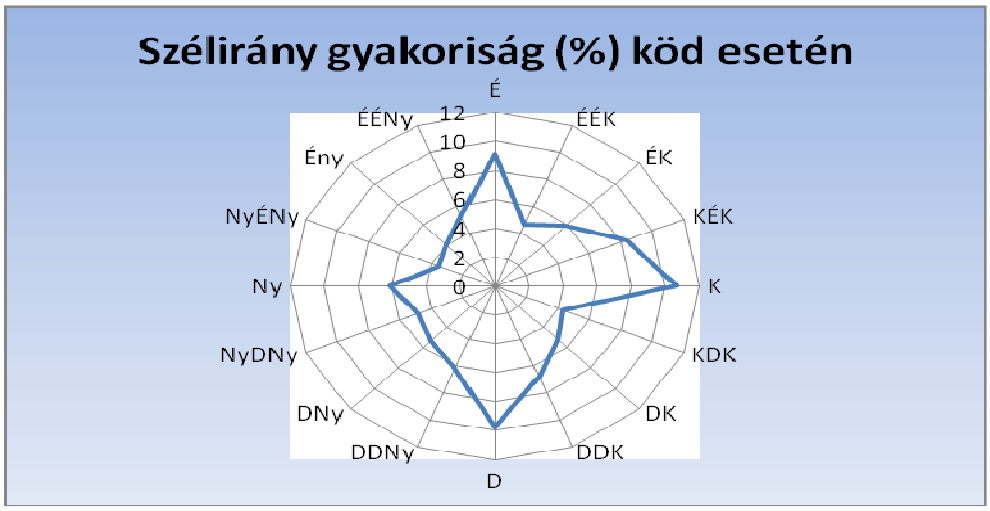
3. ábra. Az egyes látástávolságok gyakorisága a szolnoki repülőtéren 1991-2006

Köd leggyakrabban 1-2 m/s-os (37% és 29 %) szél esetén alakul ki. 7m/s-os szél mellett ködöt csak 5 alkalommal figyelhettünk meg, ennél nagyobb szélsebesség esetén egyetlen alkalommal sem keletkezett (4.ábra).



4. ábra: A köd gyakorisága a szélsebesség függvényében, a szolnoki repülőtéren 1991-2006

A szélirány és a köd kapcsolatát az 5. ábra mutatja. Megállapítható hogy köd leggyakrabban K-i és D-i szél esetén fordul elő, ezen kívül jellemző még É-i szél esetén is.



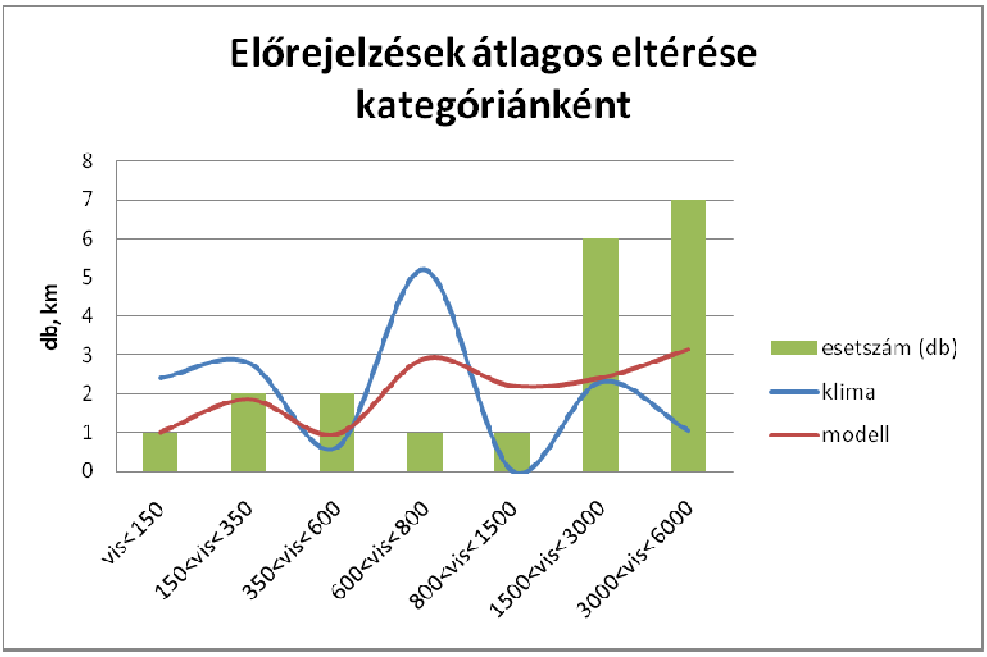
5. ábra: Szélirány gyakoriság köd esetén, a szolnoki repülőtéren 1991-2006

KLÍMAADATOKON ALAPULÓ LÁTÁSTÁVOLSÁG ELŐREJELZÉSI MÓDSZER

A látástávolság előrejelzésére egy olyan módszert próbáltunk ki, amelynek elve azon alapul, hogy egy adott időjárási eseményhez megkeresi a leghasonlóbb eseteket a 15 éves adatbázisban, azt feltételezve, hogy hasonló időjárási helyzethez hasonló látástávolság tartozik (analógia keresés módszere).

A program a „leghasonlóbb eseteket” az előrejelezni kívánt időponthoz tartozó állapothatározók és az alap adatbázis állapothatározóinak összehasonlításával keresi meg. A programot 2009 novemberére 8UTC-re, az Országos Meteorológia Szolgálatnál operatíve futó MM5 modelladataival teszteltem. Összehasonlítást végeztem Dr. Wantuch Ferenc látástávolság előrejelző modelljével, amit jelenleg is használnak az Országos Meteorológiai Szolgálatnál.

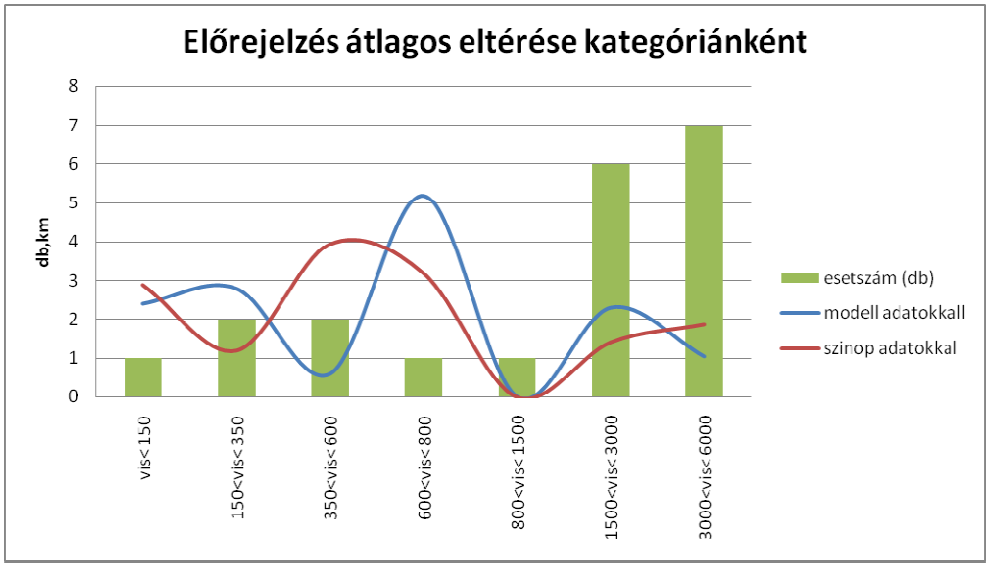
A tesztidőszakban a klímaadatokon alapuló program és az Országos Meteorológiai Szolgálatnál használt modell hasonló (körülbelül 3 km-es) átlagos eltéréseket mutatott a valós látástávolságokhoz képest. Megnéztük, hogy az egyes látástávolság kategóriákra milyen átlagos eltérések mutatkoznak (6.ábra). A tesztidőszakban a köd, azaz 1km alatti látástávolság esetén az Országos Meteorológiai Szolgálatnál futó modell jobb eredményt adott, viszont az 1 km feletti látástávolságok esetén, a klímaadatokon alapuló módszer tűnt sikeresebbnek.



6. ábra: Az előrejelzések átlagos eltérése kategóriánként a szolnoki repülőtéren

Kísérletet tettünk, arra, hogy a klímaadatokon alapuló programban feltérképezzük, hogy milyen hibát okoz a MM5 modelladatok hibája. Ennek érdekében az előrejelzés időpontjára vonatkozó SYNOP adatokkal futtattuk le 2009. november hónapra a modellt, azaz azt feltételeztük, hogy tökéletes előrejelzéssel dolgozunk. Átlagosan 200 méterrel kisebb eltéréseket kaptunk a SYNOP adatokkal futtatott esetben. Ez látástávolság kategóriánként a 7. ábrán látható.

A következőkben tervezzük a klímaadatokon alapuló előrejelző program pontosítását, hatékonyságának növelését. Emellett még a köd klimatológiai elemzések elvégzést, amelyek eredményei segítségünkre lehetnek a program további javításában.



7. ábra: Az előrejelzés átlagos eltérése kategóriánként modell adatokkal és SYNOP adatokkal a szolnoki repülőtéren

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] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO): Meteorological Service for International Air Navigation, Sixteenth Edition, July 2007
[3] GYURÓ, GY., 2008: Szinoptikus időjárási analízis eszközei, Egyetemi Meteorológiai Füzetek, ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest
[4] O. HYVARINEN, J. JULKUNEN, V. NIETOSVAARA 2008: Climatological tools for low visibility forecasting .In COST Action 722-Earth System and Enviromental Management –Short range forecasting methodes of fog, visibility and low clouds. ISBN 978-92-898-0038-9
[5] R. BAKOWSKI, A. GLOWACKA, E. OLSZEWSKA, M. PARADOWSKI, W. WIAZEWSKI 2008: Fog forecast based on statistical correlationof selected meteorological elements-Weather conditions favourable for fog formation at Warsaw and Cracow airports .In COST Action 722-Earth System and Enviromental Management –Short range forecasting methodes of fog, visibility and low clouds. ISBN 978-92-898-0038-9
[6] V. NIESTOVAARA AND W. JACOBS 2008: Activities and co-operation .In COST Action 722-Earth System and Enviromental Management –Short range forecasting methodes of fog, visibility and low clouds. ISBN 978-92-898-0038-9