



TOPIDOC 2010



REPÜLÉSTUDOMÁNYI SZEMELVÉNYEK 2016



**REPÜLÉSTUDOMÁNYI SZEMELVÉNYEK
2016**

**NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM
KATONAI REPÜLŐ INTÉZET
TUDOMÁNYOS KIADVÁNYA**

ISBN 978-615-5057-70-0



© A Szerzők 2016

© Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet

Szerkesztők:

Dr. Békési Bertold alezredes, PhD

Nemzeti Közszolgálati Egyetem/National University of Public Service

Dr. Szilvássy László alezredes, PhD

Nemzeti Közszolgálati Egyetem/National University of Public Service

Lektorok:

Dr. Békési Bertold alezredes, PhD

Nemzeti Közszolgálati Egyetem/National University of Public Service

Dr. Kavas László alezredes, PhD

Nemzeti Közszolgálati Egyetem/National University of Public Service

Prof. dr. Makkay Imre ny. ezredes, CSc

Nemzeti Közszolgálati Egyetem/National University of Public Service

Prof. dr. Óvári Gyula ny. ezredes, CSc

Nemzeti Közszolgálati Egyetem/National University of Public Service

Prof. dr. Pokorádi László ny. ezredes, PhD

Óbudai Egyetem/ Óbudai University

Dr. Szilvássy László alezredes, PhD

Nemzeti Közszolgálati Egyetem/National University of Public Service

A REPÜLÉSTUDOMÁNYI SZEMELVÉNYEK 2016 című könyv a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet, által évente egy alkalommal kiadott, a repüléstudományi tematikus kiadványa.

MEGJELENÉS

A kiadvány évente egy alkalommal jelenik meg, a megjelenő írások lektoráltak. A közlésre szánt tanulmányokat a Repüléstudomány Közlemények honlapján kell regisztrálni és feltölteni <http://www.repulestudomany.hu> További részletekért látogasson el honlapunkra.

Kiadó: Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet

Kiadásért felelős: dr. Palik Mátyás alezredes, PhD

Szerkesztőség címe: 5008 Szolnok, Kilián út 1.

Levelezési cím: NKE Repüléstudományi Közlemények 5008 Szolnok, Pf.: 1.

Telefon: +36-56-510-535

e-mail: RepTudKozl@uni-nke.hu

HU ISBN 978-615-5057-70-0

Borítón található fényképet Dr. Toperczer István készítette

TARTALOM

Előszó	7
Rohács József Repülőipari fejlesztési stratégiák alapjai, sajátosságai	9
Pokorádi László Karbantartási folyamat Monte-Carlo szimulációs elemzése	37
Szabolcsi Róbert Multitrotoros pilóta nélküli légi járművek repülésdinamikai modellje	57
Kavas László, Óvári Gyula, Varga Béla Repülőeszközök tüzelőanyaggal történő légi utántöltésének módszerei, hagyományos és új alkalmazási lehetőségei	81
Palik Mátyás, Vas Tímea Biztonságirányítási rendszer alapelvei az UAS üzemeltetésben	113
Bera József Modern repülés, modern környezetvédelem	125
Szilvássy László Repülőfedélzeti irányítható páncéltörő rakéták és azok összehasonlítása	151
Tóth József A repülő műszaki tisztai kompetenciák kvalitatív vizsgálata	177
Rozovicsné Fehér Krisztina Alternatív üzemanyagokhoz, meghajtásokhoz kapcsolódó fejlesztések a 2015-ös évben	191
Palik Mátyás 100 éves a magyar repülésirányítás	205

SZERZŐK – AUTHORS

Dr. BERA József, PhD környezetvédelmi szakértő Fonometro Környezettechnikai Bt. bera.jozsef@prosysmod.hu orcid.org/0000-0001-6240-2345	BERA József, PhD expert of environmental protection Fonometro Limited partnership bera.jozsef@prosysmod.hu orcid.org/0000-0001-6240-2345
Dr. KAVAS László (PhD) alezredes, egyetemi docens Nemzeti Közszerológati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Repülőgépi Sárkány-hajtómű Tanszék kavas.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-7375-3527	KAVAS László (PhD) Lieutenant Colonel, Associate Professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft and Engine kavas.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-7375-3527
Dr. ÓVÁRI Gyula alezredes, egyetemi tanár Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Repülőgépi Sárkány-hajtómű Tanszék ovari.gyula@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8604-5861	ÓVÁRI Gyula, CSc ret. Colonel, Professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft And Engine ovari.gyula @uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8604-5861
Dr. PALIK Máttyás alezredes, egyetemi docens Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet palik.matyas@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-2304-372X	PALIK Máttyás, PhD Lieutenant Colonel, Associate Professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation palik.matyas@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-2304-372X
Dr. POKORÁDI László, CSc egyetemi tanár Óbudai Egyetem pokoradi.laszlo@bkg.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0003-2857-1887	POKORÁDI László, CSc Professor Óbuda University pokoradi.laszlo@bkg.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0003-2857-1887
ROZOVICSNÉ Fehér Krisztina mérnökstanár Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Repülőgépi Sárkány-hajtómű Tanszék rozovicsne.fehér.krisztina@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5057-733X	ROZOVICSNÉ Fehér Krisztina (MSc) Engineer teacher National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft And Engine rozovicsne.fehér.krisztina@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5057-733X
Dr. ROHÁCS József, PhD egyetemi tanár Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszék jrohacs@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-4607-9063	ROHÁCS József, PhD Professor Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics Naval Architecture and Railway Vehicles jrohacs@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-4607-9063

SZERZŐK – AUTHORS

<p>Prof. dr. SZABOLCSI Róbert tanszékvezető, egyetemi tanár Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet Mechatronika Tanszék szabolcsi.robort@bgtk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0002-2494-3746</p>	<p>SZABOLCSI Róbert, PhD Head of Department, Professor Óbuda University Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engi- neering Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering Department of Mechatronics szabolcsi.robort@bgtk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0002-2494-3746</p>
<p>Dr. SZILVÁSSY László alezredes, egyetemi docens Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Fedélzeti Rendszerek Tanszék szilvassy.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0455-4559</p>	<p>SZILVÁSSY László, PhD Lieutenant Colonel, Associate Professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft Onboard Systems szilvassy.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0455-4559</p>
<p>TÓTH József alezredes, főiskolai docens Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék toth.jozsef@uni-nke.hu orcid.org/0000-0001-8647-3404</p>	<p>TÓTH József Lieutenant Colonel, Associate Professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft And Engine toth.jozsef @uni-nke.hu orcid.org/0000-0001-8647-3404</p>
<p>Dr. VARGA Béla (PhD) alezredes, egyetemi docens Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Repülőgép Sárkány-hajtómű Tanszék varga.bela@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-3454-0825</p>	<p>VARGA Béla (PhD) Lieutenant Colonel, Associate Professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft and Engine varga.bela@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-3454-0825</p>
<p>VAS Tímea őrnagy, tanársegéd Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Repülésirányító és repülő-hajzó tanszék vas.timea@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0082-0370</p>	<p>VAS Tímea (MSc) Major, Assistant professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department Airspace Control and Pilot Training vas.timea@uni-nke.hu ORCID.ORG/0000-0002-0082-0370</p>

ELŐSZÓ

A hazai felsőoktatásban nem egyedülálló az, hogy tanszékek, intézetek, kutató műhelyek az általuk művelt tudomány- vagy kutatási terület további népszerűsítése céljából időszaki kiadványokat jelentetnek meg. Ezzel lehetőséget biztosítanak az adott szakterületen folyó oktatási és kutatás-fejlesztési tevékenységek eredményeinek mind szélesebb megismertetéséhez, a publikációs lehetőségek kiterjesztéséhez.

Intézetünk, a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézete felsőfokú repülőszakember képzést és a repüléstudományhoz kapcsolódó szakmai területeken tudományos-kutatást folytató szervezet.

Fontos küldetésünknek tartjuk, hogy lehetőségeink szerint növeljük a repüléstudományi terület elismertségét, megismertessük a szakterületen egyéni-, vagy csoportos kutatásokat folytató szakemberek eredményeit, tovább népszerűsítve ezzel a tudományterületet.

A Repüléstudományi Szemelvények címmel ez évben elindított sorozatunkkal elsődleges célunk az, hogy hírt adjunk az adott évben a repülés- és a hozzá szorosan kapcsolódó területeken folyó tudományos-kutatások irányairól. E mellett szeretnénk teret adni tehetséges fiatal oktatóknak, kutatóknak, hallgatóknak publikációs lehetőségeik kiterjesztéséhez, ezáltal a tudományos tevékenység népszerűsítéséhez és mind szélesebb olvasóközönség figyelmének felkeltéséhez.

Az első kiadványunkban szereplő írásművek a repüléstudomány széles spektrumát fogják át. Olvashatók benne a légiközlekedés műszaki-technikai-, alkalmazói- és humán területeit bemutató tudományos igényű és alaposan elkészített írásművek.

Abban a reményben ajánlom első kötetünket az érdeklődő olvasó figyelmébe, hogy nem csupán a szakterület művelői, de mindazok számára is hasznos és tartalmas időtöltést nyújtunk, akik szívesen gondolkodnak együtt a repülés és a légiközlekedés modern világának izgalmas, egyes területeken a jövőbe mutató kérdéseiről.

Ez úton megköszönöm a kiadvány szerzőinek és annak szerkesztésében részt vállaló kollégáimnak a munkáját, mellyel hozzájárultak a sorozat első kötetének összeállításához.

Szolnok, 2016. március 26.

Dr. Palik Máttyás
mb. igazgató

Rohács József

REPÜLŐIPARI FEJLESZTÉSI STRATÉGIÁK ALAPJAI, SAJÁTOSÁGAI

A modern gazdaság alapvetően függ a tudás-alapú, csúcstechnológiai szektorának a fejlettségétől. Minden állam igyekszik fenntartani, erősíteni, vagy éppen megindítani, megújítani a repülőiparának és a légiközlekedésének a fejlesztését. Ezeknek stratégiái, a gazdaság belső és külső jellemzőitől hatásaitól függően eléggé eltérő célokat és utakat követnek, mégis jelentős, – mondhatni törvényszerűen jelentkező – közös elemekkel is rendelkeznek. E cikk a magyar repülőipari fejlesztési stratégia kidolgozásához kíván segítséget nyújtani annak, illetve céljainak értelmezésével, valamint egy sor állam repülőipari fejlesztési stratégiájának áttekintésével.

Kulcsszavak: fejlesztési stratégia, repülőipari fejlesztési stratégia, fejlesztési stratégia kidolgozása

BEVEZETŐ

A repülés exponenciálisan bővülő fejlődését a repüléstudományok és a technológia legújabb eredményeinek a gyors és intenzív adaptálása határozza meg. A fejlesztési irányokat mégis nehéz előre jelezni, a gyakorlatban ennek eredményei bizonyos fokig véletlenszerűen jelentkeznek, szintetizálásuk és alkalmazásuk 8–10 évente teljesen új repülőgépek, illetve azok új generációjának a megjelenéséhez vezet. Mintegy 20 évente pedig gyökeres változásokat lehet megfigyelni a légijárművek fejlesztésében is.

A repüléstudományok és a repülőgép-fejlesztések új eredményeihez való gyors alkalmazkodás iparpolitikai és gazdasági kérdés. Ma már a leggazdagabb országok sem tudnak elviekben új repülőeszközöket megtervezni, legyártani önállóan. És ez nemcsak, vagy nem elsősorban gazdasági (finanszírozási) kérdés. Sokkal inkább a nemzetközi tudás és technológia koncentrációjáról van szó. Ma már az az állam, amelyik – minimum – alkatrészek, berendezések gyártásával nem kapcsolódik a repülőgépek, a repülés fejlesztéséhez, programozottan lemarad a többiektől, a gazdasága egy másodvonalbeli, ún. követő gazdasággá degradálódik.

A repüléstudományok, a repülés jövőre és a gazdaságra gyakorolt hatásait már egészen korán felismerték. Kínában például a Qing dinasztia kormánya már 1901-től küldött külföldre tehetséges fiatalokat, hogy tanulmányozzák a repülés elméleti, gyakorlati megvalósításának lehetőségeit. Az ösztöndíjasok közül Wang Zhu (más átírások szerint Wong Tsu) először Angliában haditengerészetet, majd Amerikában az MIT-in (Massachusetts Institute of Technology) repüléstudományokat tanult. Később a Boeing gyár első főmérnökévé vált, majd hazatérve, az 1920-as években vízi repülőgépek tervezésével és gyártásával foglalkozott, később a taiwani Cheng Kung Egyetem repüléstudományi professzoraként dolgozott [1].

A korabeli magyar vezetők is értették, milyen fontos, hogy az ország a technológiai fejlődés élbolyához tartozzon. 1911-ben a kereskedelmi miniszter ösztöndíjjal Franciaországba küldte Zsélyi Aladárt és Székely Bertalant [3][4][5]. Nem véletlen, hogy a mai Magyarország határain belül, már az I. világháború idején 3 repülőgépgyárban, több mint 5000 jól képzett szakember dolgozott.

A magyar repülés az elmúlt 100 évben három „mélyrepüléssel is büszkélkedhet”. Mind az I. mind a II. világháborúk után nemzetközi egyezmények tiltották a repülőipar, a hazai repülés fejlesztését, míg 1956 után részben „önkéntesen” vállalta be ugyanezt a magyar vezetés.

A magyar repülőszakemberek lelkesedését, tudását és jó helyzetértékelését, tenni akarását mutatja, hogy a műegyetemen már 1921-ben megalakult a magyar repülésnek sok dicsőséget szerző és neves szakemberek, tervezők sorát kinevelő Műegyetemi Sportrepülő Egyesület (MSrE). A Kereskedelmi Minisztérium Légiforgalmi Szakosztálya pedig már a trianoni döntések előírásai szerint végrehajtott, a repülőipar és a repülőgépek megsemmisítését eredményező időszakban pályázatot írt ki az akkori nemzetközi korlátozásoknak megfelelő iskola-repülőgép tervezésére [4].

A repülőipar „titkos” fejlesztése 1928-tól felgyorsult, miután a párizsi egyezmény alapján a Népszövetség Ellenőrző Bizottsága megszüntette légügyi tevékenységét. (A magyar kormány vállalta a katonai repülés tilalma mellett a légügyi tevékenységről szóló éves jelentések elkészítését a Népszövetségnek [4].) Ezután a „titkos légügy” olyan fejlesztéseket hajtott végre, mely ma is követendő, nemzetközi példaértékű lehet(ne). Többek közt, repülőgép tervre pályázatokat írtak ki és gyártási licenceket vásároltak, ezzel segítve a magyar repülőipar talpra állását és felzárkózását a nemzetközi szinthez. A világon elsőként írták elő törővizsgálatokat a légialkalmasság bizonyításához.

E rövid bevezetésből is látszik, van kitől és van mit tanulni, elég követni a magyar „titkos légügy” fejlesztési taktikáját. A magyar gazdaság eredményességét csak a tudás-alapú és a csúcstechnológiák alkalmazása növelheti. Ehhez a legjobb segítség a repülés, a repülőipar fejlesztése (lásd a „Gondolatok, háttéranyagok a repülés, repülőipar stratégiai szerepéről” című rövid tanulmányt [5]).

Ez a cikk a magyar repülőipari fejlesztési stratégia kidolgozásához kíván segítséget nyújtani annak, illetve stratégiai céljainak értelmezésével és más államok hasonló tartalmú tevékenységének áttekintésével.

1. FEJLESZTÉSI STRATÉGIÁK KIDOLGOZÁSA

1.1. A stratégiai célok meghatározása - technológia-fejlesztés

Egyének, vállalkozások, vagy ezek csoportja, egy gazdasági szektor, egy társadalmi csoport, egy régió, egy ország készíthet stratégiát a hosszú távú céljaik elérése érdekében. A stratégia egy olyan koncepció, mely készítőjének jelenlegi helyzetéből, a belső és külső sajátosságainak és a várható változásoknak értékelése alapján:

- rögzíti a hosszú távú (minőségi és mennyiségi jellemzőkkel leírható) célkitűzéseit, és
- meghatározza a célok elérését biztosító módszereket, eljárásokat,
- a megvalósulásához szükséges erőforrásokat (ide értve a humán, az anyag, az energia, az infrastrukturális, a jogi, a finanszírozási forrásokat), továbbá
- definiálja és ütemezi a lényeges teendőket (fejlesztési) akciókat, benne
- a kidolgozott stratégia felülvizsgálatainak, a változó belső, külső környezethez igazításának az ütemezést is.

A stratégia kialakításának és alkalmazásának a célja, hogy el lehessen érni az elhatározott hosszú távú cél(oka)t a külső és belső környezet, feltételek, sajátosságok, változások folyamatos megfigyelése, értékelése, elemzése és azok alapján meghozandó döntések segítségével.

A stratégia kialakításakor az (társadalmi – piaci) elvárások, a hosszú távú (technológiai) fejlődés előrejelzése alapján először meg kell határozni a fejlesztési küldetést és víziót, majd azokhoz szcenáriókat definiálva meghatározandó azon módszerek köre, melyekkel az adott szcenáriók teljesülésékor a folyamatok befolyásolhatók. A stratégia alapján annak céljait szükséges meghatározni.

Lényegében három különböző stratégia határozható meg [6]:

- *tervező (planning mode) típusú*, módszeres tervezési tevékenység, mely a legfejlettebbnek tekinthető, de csak akkor alkalmazható, ha a jövőbeni külső környezeti változások alakulása megbízhatóan prognosztizálható;
- *vállalkozó típusú (entrepreneurial)*, stratégiai fontosságú döntések sorozata, mely a „nagy lépések politikájával” jellemezhető;
- *adaptív típusú*, bonyolult környezetben alkalmazható, a „kis lépések politikája” jellemzi.

A fejlesztési stratégia célja technológia, termék, vállalkozás, vagy akár egy iparág, egy gazdasági szektor, egy ország e területen jelentkező hosszú távú céljait és az eléréshez vezető feladatokat, illetve azok megoldási lehetőségeit tartalmazza. Ennek is három alapvető típusa ismert [7]:

- *inkrementális*: lassú és folyamatos fejlesztés kis változásokkal finomításokkal folyamatosan közelítve az elérendő célt,
- *evolúciós*, lassú és folyamatos fejlesztés, melyben az elérendő cél „lágyan” meghatározott, de minden lépésben javítanak az előzőekhez viszonyítva,
- *nagyugrás*, gyorsan az elsőre jó nagy lépés megtételével éri el a célját.

A fejlesztési stratégia kidolgozását először a helyzet értékelésével és a elérendő célokat tartalmazó vízió(k) kidolgozásával kell kezdeni [8].

A magyar repülés szempontjából a második fejlesztési stratégia alkalmazása javasolható. Az első, az inkrementális alkalmazása feltételezi az elérendő cél pontos ismeretét, melynek egyben ténylegesen reálisnak kell lennie. Belátható, mi akarhatjuk, hogy az Airbus bennünket kiemelt beszállítónak nyilvánítson, de azért őket is meg kellene erről kérdezni.

A harmadik fejlesztési stratégia, a nagy ugrás, csak akkor alkalmazható, ha egyfelől biztosan látható, hogyan érhető el a kijelölt cél, másfelől biztosított-e a szükséges támogatás, ide értve a humán, anyag, energia, költség stb. feltételeket.

Látható, hogy a lágyan megfogalmazott, a fejlesztés során a változó külső és belső környezethez igazított célokat könnyebb elérni az evolúciós, vagy adaptív modell alkalmazásával.

További fontos tény, hogy a fejlesztéseknek technológiákra, termékekre kell irányulnia, amiből a technológiát alapvetően kétféle módon szokták meghatározni [9].

Az egyik verzió szerint ez termelési módszertant jelent. Ebbe, bele kell érteni a termelés módszereit és azok rendszerét is. A termelési módszertan magába foglalja a termelési eszközöket és a termelés szervezését, bár az első tekintik fontosabbnak. *A másik meghatározás szerint* a technológia egy tudásban megtestesülő információt jelent, melyet szisztematikusan alkalmazunk a bemenetekre (inputokra), hogy azokból a kívánt kimenetek (outputok) kialakuljanak. Ugyanakkor a technológia nemcsak információ, nemcsak tudás, mivel ez az előbbi általában nem áll rendelkezésre a szükséges leírások, üzemeltetési utasítások formájában, vagy akár a tudomány szintjén sincsenek még feldolgozva az adott ismeretek [10][11][12].

Azt az információt, amely az egyes technológiákat és azon keresztül az innovációt meghatározza, technológiai tudásbázisnak (knowledge base) nevezik [11], mely a korábbi ismeretekre, gyakorlati tapasztalatokra, az elérhető (formális és szabad) tudásra és a tanulásra épül. Utóbbi itt nem a normál tanulási folyamatot jelenti, amikor a szabad tudományos és technológiai eredményeket, vagy a kodifikált (rendszerbe foglalva leírt) ismereteket kell elsajátítani. Ez a tanulás csak a szakmai gyakorlat során szereshető meg ún. megbúvó, vagy rejtett (tacit) információk elsajátítását jelenti, melynek ismeretében alakulnak ki az adott technológia innovatív alkalmazásához szükséges képességek és szakértelem (kompetencia) [11][13][14].

Valójában a tanulási folyamatban elsajátított, előre kodifikáltan meg nem jeleníthető, ezért formálisan nem oktatható tacit ismeretek [11][15] alapvetően meghatározzák a mai vállalkozások sikerét. Ezek, a vállalkozáson belül mint az intellektuális tőke (intellectual capital), magasabb szinten, mint a szerzői jogok (intellectual property) jelennek meg. A felmérésben résztvevő multinacionális cégek képviselői szerint a humán munkaerőforrás gazdálkodás (a HR management) mellett, azzal egyenértékűen, esetenként annál talán fontosabbnak tekintik meg az IP (intellectual property).

A termék technológiák alkalmazásával létrejött egy valamely szükségletet kielégítő dolog, mely megjelenhet fizikai valóságban, vagy (pl. életbiztosításnál) csak leírások formájában.

A technológia-fejlesztés során alapvetően annak három változata dolgozható ki [16][17] [18]. Az első a meglévő technológiák, termékek, rendszerek tulajdonságait javítja. Ezeket *innovatív, vagy fenntartható technológiáknak* nevezik, mivel folytatólagosan működtetik a kialakult rendszereket [16][17]. A második csoportba sorolják azon technológiákat, melyek „lebontják” a kialakult rendszereket és forradalmian új termékeket, rendszereket kialakulásához vezetnek [18]. Például ezt történt, amikor a vasúti közlekedés, majd a személyautók, ezt követően a repülés megjelent, vagy amikor a gázturbinás hajtóművek kifejlesztésével a repülés egy új szinten, az emberek többsége számára elérhetően lett újjászerveve. Az ilyen technológiákat *diszruptívnak* nevezik. Végül a harmadik féle, ún *szubverzív technológia* nemcsak egy ágazatban (pl. a közlekedésben, vagy annak egyik részében a légi közlekedésben) okoz alapvető változást, de a teljes társadalmi rendszerben, az egész gazdaságban is. Ilyen volt pl. a tűz, a gőzgép megjelenése.

Belátható, hogy amennyiben egy sikeres gazdaság fenntartható technológiákat fejleszt és birtokol, – miközben, ha a annak fejlődése elérkezik egy váltáshoz (amint az a repülésben most várható) – akkor annak diszruptív változatának fejlesztésére koncentrálni, hogy a kialakuló új rendszerben is megfelelő gazdasági és piaci helye legyen [19].

A diszruptív technológiák fejlesztése és alkalmazása azonban egy sor problémát okoz a vállalkozásoknak, különösen a nagyobbaknak [20][21]. McBreen megfogalmazása [22] szerint: (i) a piac fejlődése elválk a technológia fejlesztéstől, (ii) a diszruptív technológia számára új piac kell, (iii) a diszruptív technológia új piacának a kiszolgálása szignifikánsan eltérő kapacitások kellenek, és/vagy (iv) a befektetések eldöntéséhez nem áll rendelkezésre elégséges mennyiségben az információ.

Talán nem véletlen, hogy az amerikai gyakorlat szerint [23] a kisvállalkozások fejlesztik ki a radikálisan új, diszruptív technológiákat, az azokat alkalmazó termékek nagyobb hányadát, miközben a kutatás-fejlesztések 87%-át a nagyvállalatok finanszírozzák. A kisvállalatok

gyorsan döntenek, könnyebben vállalnak kockázatokat, ezért sikeresebbek az eredeti gondolatok alkalmazásában. A nagyvállalatok inkább a fenntartható innovatív technológiákat fejlesztik, ezzel is védve a piacaikat.

A fejlesztési stratégia egy komplex ütemterv, mely tartalmazza a hosszú távú elérendő cél meghatározását, annak eléréséhez szükséges források behatárolását, a stratégiai cél elérése érdekében megteendő lépéseket és a folyamat irányítási megoldásait.

A hazai repülésipari fejlesztést célszerű egy evolúciós stratégia kialakításával támogatni.

Mivel a repülés egy korszakváltás előtt áll, lehetőség nyílik arra, hogy a diszruptív (forradalmian új) technológiákat fejlesztő új szereplők is csatlakozzanak a globális repülőiparhoz, a csúcstechnológiákat alkalmazók körébe. Ehhez kiemelten szükséges támogatni az új, (benne a forradalmian új!) technológiák fejlesztését és alkalmazását.

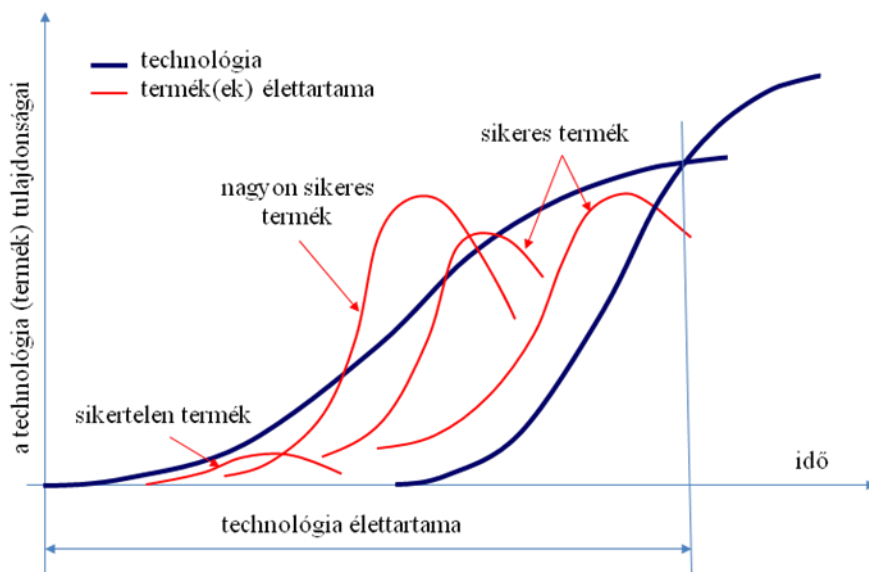
1.2. A technológia és a termék élettartama, innovációs tér

A *technológia élettartama* egy olyan időszak, mely alatt annak jellemzői folyamatosan javulnak (nőnek) és nem jelenik meg helyette egy másik, jobb mutatókkal (1. ábra). Minden technológiának van egy élettartam ciklusa, mely magába foglalja a kifejlesztéséhez, alkalmazásához szükséges időt, az azt alkalmazó termék értékesítését, valamint használatát. Az első szakaszban, a kutatás-fejlesztés során a kifejlesztés és alkalmazás befektetéseket igényel, míg a másodikban, az alkalmazás során készült termékek használata során bevétel keletkezik. A folyamat akkor sikeres, ha a bevétel jelentősen meghaladja a kezdeti kiadásokat [19]. Ezt segítheti a – kezdetben nagyobb befektetéseket igénylő – gyorsabb kutatás-fejlesztés. Ennek nyomán a hamarabb piacra kerülő termék – köszönhetően a termék ismertségének és a termék-hűségnek – többnyire tovább a piacon marad, élettartam ciklusa hosszabb.

Az új termékek, (szolgáltatások), gyakran radikálisan új technológiákat alkalmaznak, élettartamuk (az azt eredményező ötlet megszületésétől a használata utáni újrahasznosításáig terjedő idő) általában (a használat körülményeitől és intenzitásától függően) lényegesen rövidebb, mint az elkészítéséhez alkalmazott technológia élettartama. Ezért ugyanazon technológia felhasználásával több termék is készíthető.

Gyakran előfordul, a radikálisan új technológiát alkalmazó termékkel, szolgáltatásokkal, hogy részben azok kezdeti magas ára, részben a vásárlók idegenkedése az újdonságoktól, korlátozza profit-termelő képességüket (1. ábra). Az is lehetséges, hogy az új technológiát alkalmazó első termékek sikertelenek, még profitot sem termelnek, míg az ilyen szempontból ugyanúgy előállított második, harmadik termék nagyobb sikerrel, magasabb hasznot elérve értékesíthető. Belátható, hogy azon produktumok, melyek a technológiát annak élettartamciklusa vége felé alkalmazzák már nem lehetnek ugyanolyan sikeresek, mivel akkora az újabb, hatékonyabb előállítási eljárásokkal készültek korlátozzák az előzőek piaci részesedését, eredményességét.

Érdeemes megvizsgálni, mikor kezd egy új termék profitot termelni a befektetőknek. Az innovációs diffúzió elmélete [25] szerint egy termék (piaci) elterjedését elemezve a társadalom tagjai (a vevők) a következő csoportokba sorolhatók: (i) újítók, (ii) kezdeti adaptálók, (iii) kezdeti többség, (iv) késői többség, (v) lemaradók. A teljes folyamat normál eloszlást mutat.

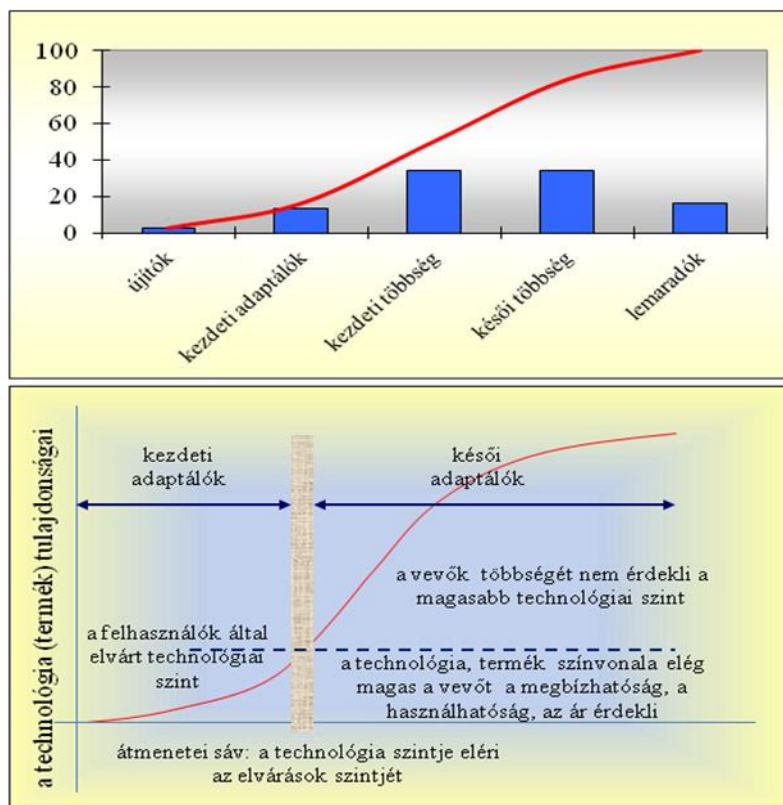


1. ábra A technológia és az azt alkalmazó termékek élettartam ciklusai közötti összefüggés [24]

Egy új technológia sikeressége szempontjából az innovációs diffúziós folyamat két részre bontható. Az elsőben, az újítók és a kezdeti adaptálók, együtt, mint kezdeti alkalmazók tartoznak. Az újítók a vásárlók kb. 2%-át teszik ki, megfelelő anyagi háttérrel rendelkeznek és szinte minden újdonságot megvesznek. Velük szemben a kezdeti adaptálók már tudatosan figyelik a technológia, a termék jellemzőit, értékelik annak újdonságát, előnyeit, de szívesen vásárolnak ilyeneket (2. ábra fent). A többieket együttesen késői adaptálóknak nevezik. Ők csak akkor vásárolnak, ha szükséges és csak akkor választanak új terméket, ha annak az új technológia tulajdonságai is megfelelnek az elvárásaiknak (2. ábra lent).

A két csoport közt egyfajta „szakadék” (chasm) létezik (2. ábra). Az első tagjai minél újabb, minél jobb, minél magasabb technológiai színvonalú terméket szeretnek vásárolni és az ár számukra kevésbé számít. A második csoport részére a beszerzésnél fontosabb a megbízhatóság, (alacsonyabb) ár, miközben szívesen veszik, ha a termék egyben újabb is. A szakadék akkor hidalható át, ha az új technológiának, terméknek sikerül a piac, a társadalom alapelvadásainak megfelelnie. Alkalmazása ettől kezdve szélesebb körben is elérhető, profitábilis lesz.

A 2. ábrából két fontos következtetés vonható le. *Egyfelől*, az innovatív, forradalmian új, ún. diszruptív technológiákat fejlesztő és alkalmazó cégek nem tudnak felnőni a nagyvállalatok szintjére [26]. (Gyakran nem is akarnak, mivel vezetőik folyamatosan új ötletekkel foglalkoznak és rendszerint nem rendelkeznek megfelelő vállalatirányítási menedzsmenti ismeretekkel.) A kisvállalatok vezetői eredeti (ún. „out of boks”) módon gondolkoznak, nyitott szemmel járnak, folyamatosan újat akarnak, és nem mindig értik a piaci hatásokat, nem tudnak különbséget tenni a kezdeti és a későbbi adaptálók közt [26]. Gyakran azt hiszik, ha egy-két példányt sikerül értékesíteni, akkor már minden „sínen” van. *Másfelől*, a nagyvállalatok az új technológiákat értékelve és alkalmazva a legjobb vevőiktől (a piactól) olyan visszajelzéseket kapnak, hogy a terméküket túlárazzák, miközben a vevők annak jellemzőit, teljesítményadatait alulértékelik. Nem véletlen mondja Christensen [18] a vevőket kérdezni rossz hozzáállás (mármint a radikálisan új technológiák alkalmazásakor).

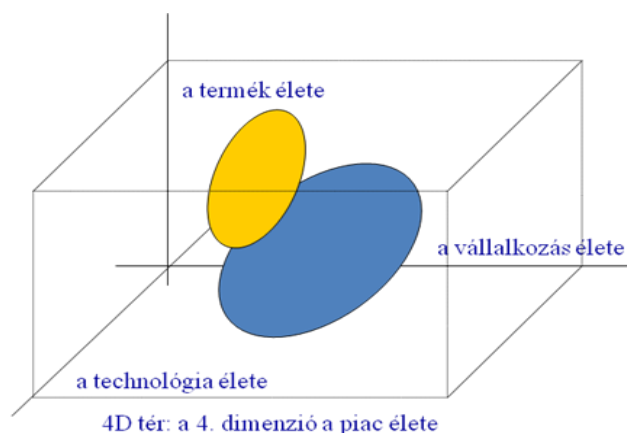


2. ábra Az innováció diffúziója [25] – az új technológia, termék elterjedési folyamata (fent) és a vevők megoszlása a technológia, a termék (idővel arányos) fejlettségi szintje, „érettsége” (lent) közt [24]

Innovációs tér

A vázolt technológia és termékfejlesztési problémák megoldásához visz közelebb az innovációs tér (3. ábra) fogalmának a bevezetése [16][19]. Ez egy olyan 3, illetve 4 dimenziós tér, melyben egy technológia sikeres alkalmazásához az szükséges, hogy az, illetve az azt alkalmazó termék (gyártójával együtt) és a piaci igények egyszerre legyenek a megfelelő térben, egymásnak is „megfelelően”. Ha a termék túlzottan korai és a piac még nem igényli annak adott tulajdonságait, az adott áron, vagy a vállalkozás nem képes a piaci igényeket kielégítő minőségben és mennyiségben gyártani, esetleg más technológia, vagy produktum jobban megfelel a vásárlói igényeknek, illetve ezekből újabbak már elérhetőek stb., mind olyasmí, ami meghatározza a technológia sikerességét.

Az innovációs tér fogalmának alkalmazásával könnyebb tervezni egy fejlesztési stratégiát, hiszen a technológia kidolgozása után ki kell fejleszteni a terméket, valamint annak a gyártástechnológiáját. Ezt követően elengedhetetlen megfelelő gyártókapacitással is rendelkezni. Persze mindez semmit sem ér, ha nem sikerül mindehhez piacot is biztosítani. Ez együtt, egyfajta technológia politika, mely nemcsak fejleszti a feltételrendszert, de meg is védi azt. (Magyarországon viszonylag könnyű támogatást szerezni új ötletek nemzetközi szabadalmaztatásához, de szinte lehetetlen hivatalos, államilag támogatott segítséget kapni a szabadalom megvédéséhez, az annak bitorlói elleni küzdelemhez.)



3. ábra Az innovációs tér

Célszerű még arról is megemlékezni, hogy hazánkban a magyar vállalkozások kiválóan ismerik a *roadmap* fogalmát. Már jóval kevesebben ismerik és használják a technológiai előrejelzést és szinten teljesen ismeretlen számukra a technológia élettartam becslése. Nem tudják, hogyan lehet alkalmazni ezeket a stratégiai elképzeléseik alátámasztására.

Magyarországon kevésbé ismert a technológiák, a termékek élettartamának a meghatározása, illetve ennek és a vállalkozás sikerességének a kapcsolata.

Egy termék nem lehet sikeres, ha túl korán alkalmazza az új technológiát és csak kevésbé válhat profitábilissá, ha túl későn alkalmazza azt.

Az innovációs tér megmutatja, hogy egy új termék csak akkor lehet sikeres (termelhet profitot), ha az alkalmazott technológia, maga a termék, az azt kifejlesztő és gyártó vállalkozás (vagy az együttműködő partnerek) valamint a piaci igények, együttesen megfelelő feltételeket teremtenek.

Az innovációs tér alkalmazása megadja a stratégiai cél eléréshez vezető út fontosabb lépéseit, teendőit, nevezetesen: mikor kell technológiát, és terméket fejleszteni, a vállalkozásokat az új termék gyártására felkészíteni, hogyan célszerű befolyásolni, illetve fejleszthetőek a piaci igények, milyen eszközökkel, menedzsmenti módszerekkel lehet segíteni az új termék gyártója és felhasználói közötti kapcsolatot, a beszállító folyamatot stb.

1.3. A lehetséges fejlesztési stratégiák

A repülés fejlesztési stratégia kiválasztása, meghatározása nagymértékben függ attól, hogy az adott ország, az adott gazdaság hogyan kapcsolódhat a globális légiközlekedéshez, repülőiparhoz. Nincs olyan módszertan, kiforrott útmutató, mely megmutatná, hogyan kell általános érvényű fejlesztési stratégiákat kidolgozni. A magyar repülés és repülőipar fejlesztése szempontjából a sokféle módszer és leírás a következők szerint foglalható össze.

- ➔ *Tulajdonosi kapcsolódás nemzetközi, globális szereplőkhöz.* (Ennek most kicsi a valószínűsége, mivel részesedést szerezni pl. az Airbus-ban, vagy más európai nagyvállalatban jelenleg nem időszerű. Egyfelől jelentős költségekkel jár, másfelől olyan vállalat is kell, mely hajlandó bővíteni a tulajdonosi körét, továbbá úgy véli, hogy az új résztulajdonos javít a vállalkozás jövedelmezőségén. Utóbbin lehet ugyan piacnyitással is javítani, de eh-

hez igen jelentős piac kell. Helyette alapvető, hogy az új tulajdonos új képességeket, tudást, technológiát hozzon a vállalkozásba.

- *Ellentételezési (offset) program kihasználása.* Általában az űrtechnika és a hadiipar értékesítésekhez kapcsolt program, melyben az ár egy részét az eladó vállalja, hogy visszaforgatja a vevő gazdaságába. Célirányosan (akár kis nyomásgyakorlással) elérhető, hogy az offset program a vásárlás utáni időszakban is működőképes legyen (pl. olyan kutatás-fejlesztésbe, vagy kisebb részegységek gyártásába bekapcsolódva a vevő eléri, hogy az eredményei bekerüljenek az eladó termékeibe, vagy az előadó azokat más ügyletekbe továbbértékesítse). Ilyen programokat hajtottak végre pl. Törökország az F-16-osok vásárlásakor, vagy Ausztria az Eurofighter programhoz csatlakozva, illetve korábban a dél-koreaiak a Samsung fejlesztésével [27] az F-15k és az F-16 offset programok keretében (4. ábra). Magyarország az eddigi offset lehetőségeket általában sikertelenül terelte a tudásalapú és a csúcstechnológia alkalmazások felé.



4. ábra A Samsung gyártotta első F-16C¹

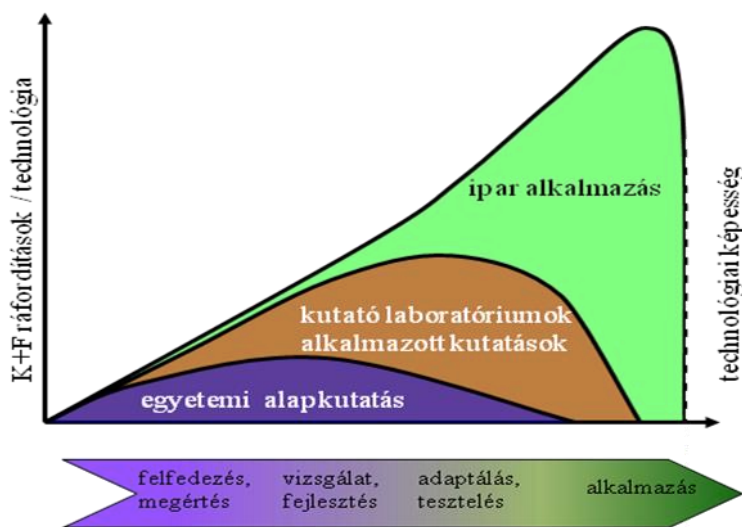
- *Kapcsolódás a nemzetközi programokhoz.* Hosszú távú célként kezelve a nemzeti gazdaság, azon belül a repüléstudományi kutatások, a repülőipari fejlesztések és a légi közlekedés bővítését, következetesen kell törekedni a partneri kapcsolatok kiépítésére, a nemzetközi támogatások elérésére. E téren sokat lehet tanulni pl. Csehország utóbbi 10–15 éves gyakorlatából, vagy Spanyolországtól. Képviselőik minden jelentősebb nemzetközi, főleg EU-s technológia platformban, együttműködésben, bizottságban, érdekvédelmi szervezetben jelen vannak és következetesen dolgoznak a nemzeti érdekeik érvényesítéséért (esetenként akár a hasonló helyzetű társak ellenében is). Magyarország helyzete a téren is eléggé ellentmondásos. Az alulról szervezve a hazai tudományos és fejlesztő műhelyek, kisvállalatok elég sok és érdekes nemzetközi projektben vesznek részt. Vannak magyar kisvállalatok kezében koordinációs támogatási projektek, sőt L1 szintű fejlesztési projekt témavezetések is [28]. Ugyanakkor a hazai kutatás-fejlesztés nem megfelelően támogatja az ilyenekben való részvételt és gyengén képviselteti magát a nemzetközi bizottságokban szervezetekben. Pl. nincs tagságunk a CleaSky-ban, pedig sok kis repülőgépet építő cégünk van. Talán még elgondolkoztatóbb példa, hogy a HungaroControl

¹ Forrás: <http://www.f-16.net/g3/f-16-photos/album39/album29/aad>

műszaki infrastrukturális bázisa nemzetközi szinten is kiemelkedő, a vállalat még sincs ennek megfelelő pozícióban a SESAR programban. (Nem a saját hibájából!)

- *Fejlesztést támogató technológia-politika alkalmazása.* Valójában az összes fejlett ország a pozíciójának a megőrzése, illetve a gyorsan fejlődő országok a technológiájuk fejlesztése és védelme érdekében központilag irányított, törvényekbe foglalt innovációs és technológia politikát folytatnak [29]. Mondhatni ilyen, innovációt támogató törvényt Magyarországon is létezik, de valójában a szükséges innovatív környezet, pl. a támogatási rendszer anomáliái (két hétre nyitott pályázatok, az elbírálásba bevont ellenérdekelt piaci szereplők, a túlhatalommal rendelkező és nyomásra „kötelezően” alkalmazandó pályázatírók stb.), a vállalkozások technológiájának a védelmét csak részben segítő (szabadalmaztatást támogató, a szabadalom megvédésével kevésbé törődő) rendszer, az innovatív kisvállalatok képzési, menedzseri, piaci segítésének esetlegessége miatt érdemben nem alakult ki [28]. Ráadásul a NAV is adott egy méretes pofont a rendszernek, amikor a megfelelő eredmények elérése előtt, az innovációs törvény alapján eljáró vállalatok sorát „végigbüntette”, a kutatás-fejlesztés céljainak, eredményeinek helytelen értelmezése miatt. (Kis túlzással, számukra csak a Nobel-díjat érdemlő eredményeket elfogadhatóak, ha valaki egy új technológiát elsők közt alkalmazott, nem tekintették támogathatónak). Itt is gyökeres szemléletváltásra lenne szükség.
- *Befektetési programok támogatása.* Ezen a területen sikeresnek nevezhető a magyar gyakorlat. A járműipar idecsábítása és itt tartása eredményes. Ugyanakkor, az 1990-es évek közepén beindult repülőipari befektetések (mint a Lufthansa Technik Budapest, vagy a GE Engine Service Veresegyház) folytatása elmaradt. Az ami ide érkezett egyoldalú befektetés, nem sikerült kutatás-fejlesztést generálni hozzájuk.
- *Beszállító programok fejlesztése.* Kiemelten kezelendő terület, mivel itt lehet a legkönnyebben és leghamarabb eredményeket elérni. A nagy globális cégek mindig nyitottak az új beszállítói források befogadására és most további két okból is történelmi időket élünk: a repülés egy korszakváltás előtt áll, miközben rendkívül sok radikálisan új technológia, eljárás, jelenik meg. Természetesen azokat a cégeket, melyek korábban nem vettek részt repülőipari globális beszállítói hálózatban, komolyan segíteni kell abban, hogy az éles versenyben helytállhassanak. (Egy kis adalék a terület jelentőségének az értékelésére: ha valaki rendelkezik egy egységnyi áruval, termékkel, akkor, ha azt sikerül a repülőipari beszállító lánc végére bejuttatni, valamely beszállítónak értékesíteni, akkor máris minimum duplázódik a termék ára. Ha a terméket közvetlen beszállítóként lehet eladni, akkor már 3–5-szörös árnövekedés realizálható. Végül, ha sikerül a terméket önállóan és szertifikálva értékesíteni, akkor az ár akár 10-szeres is lehet.) Nem véletlen, hogy pl. az osztrákok a repülőipar fejlesztését célzó Take-Off [30] program egyik kiemelt fejezete volt a szertifikációs képesség fejlesztése, benne jelentős számú ilyen szakember kiképzése.
- *Vállalkozási környezet kialakítása.* A repülőipar fejlesztéséhez érdekes és sajátos vállalkozási környezet tartozik. Amíg egy eredeti – forradalmian új – gondolatból, egy repülőipari alkatrész, termék lesz, gyakran 15, vagy akár 40 év is eltelhet. Közben az ötletből technológia és produktum lesz, melynek kutatását, fejlesztését először – rendszerint megfelelő egyetemi bázisokon, a világon mindenütt – közösségi pénzek felhasználásával támogatnak (5. ábra). Ezután a sikeresnek tűnő technológiák, termékek átkerülnek a technológia

transzfer intézményeihez, melyek egyfelől jelentős kísérleti bázissal (szélcsatornák, törő-állványok stb.) rendelkeznek, ahol tesztelhetik az újdonságokat, másfelől „átadják” azokat a profitorientált vállalkozásoknak, továbbfejlesztésre, alkalmazásra. A technológiai transzfer intézmények alapvetően közösségi támogatásúak, de már elég sok megrendelést kapnak a profitorientált vállalkozásoktól is. Sajnos a repülőipari vállalkozások segítéséhez a technológiai transzfer intézményei is hozzátartoznak. Minden fejlett ország rendelkezik is ilyen központi kutatóintézettel, (pl. az USA-ban a NASA, az orosz CAGI (ЦАГИ), a francia ONERA, a holland NLR, az olasz CIRA, a német DLR stb.), de Romániában, Lengyelországban, Csehországban is vannak kapcsolódó kutatóbázisok, tudásközpontok. (Némi segítség, hogy vannak olyan támogatási programok, melyeket nemzetközi szinten segítenek a nagy kutatóintézetek úgy, hogy ingyenesen biztosítsanak kutatási, tesztelési lehetőséget kisebb vállalkozásoknak, egyetemeknek, sőt akár egyéneknek is. (Lényegében a hazai kutatás-fejlesztés egyik súlyos problémája, hogy az akadémiai kutatási hálózat nem tud szabadulni a korábbi szocialista logikától: a kutatás-fejlesztés még mindig eléggé különáll a felsőoktatástól, ahova pedig nem jut erre forrás.) A magyar kutató-fejlesztő hálózaton belül túldimenzionált és – legalábbis nagyobb részben – képtelen segíteni a technológia transzfer, melyre több fontos szakterületen nem is léteznek megfelelő hazai szervezetek. Természetesen vannak kivételek is, (pl. a SZTAKI, vagy az autóipari tudásközpontok) melyek igyekeznek lefedni a teljes kutatási-fejlesztési folyamatot.



5. ábra A repüléstudományi kutatás-fejlesztés támogatási struktúrája (az Airbus felfogásában [31])

- *Vállalkozások segítése.* Az előzőekben kiemelt vállalkezési környezet kialakítása önmagában még nem elegendő. A vállalkozásokat szakértelemmel, piaci ismeretekkel, piacra jutási feltételek elérésének a biztosításával, is segíteni kell. Az ilyen segítséget általában a vállalkozások érdekvédelmi szervezetei, társulása, kisvállalatok klaszter szervezeti és non-profit szervezetek tudják koordinálni [32].

A magyar repüléstudomány, repülőipar és légiközlekedés fejlesztésére kidolgozandó stratégia egyszerre többféle változatot, illetve azok megfelelő kombinációját alkalmazhatja.

Pontosabban:

- *célszerű törekedni a katonai helikopterek beszerzésekor, az offset program keretében csúcstechnológiák átvételére, illetve beszállítói programhoz csatlakozásra,*
- *segíteni a nemzetközi programokhoz való csatlakozást (lehetőleg minden szinten megjelenve),*
- *egyszerűsíteni és célirányosabbá, eredményesebbé tenni a kutatás-fejlesztési támogatását,*
- *befektetés-támogatáskor kiemelten célszerű kezelni a repülőipari tudásalapú és csúcstechnológiai beruházásokat,*
- *a vállalkozói támogatással, a vállalkozási környezet fejlesztésével támogatni kell, a magyar kis és közepes vállalatok önálló termékekkel való megjelenését és csatlakozását a repülőipari beszállítói láncához.*

2. REPÜLŐIPAR ÉS LÉGIKÖZLEKEDÉS SIKERES FEJLESZTÉSI STRATÉGIÁI

2.1. Oktatás, kutatás-fejlesztés

A tudásiparban, a csúcstechnológiát alkalmazó iparágakban, így a repülőiparban is az oktatás, a kutatás-fejlesztés meghatározó jelentőségű. A NASA (National Aeronautics and Space Administration) ezredfordulós előrejelzésében [33] kiemelten kezeli a repüléstudományi oktatást. A kutatás-fejlesztéshez bizonyosan művelt, kreatív szakemberek kellenek. Közben a társadalom megítélése szerint az elmúlt 40–50 évben – nemcsak nálunk – sokat csökkent a mérnökök presztízse. A NASA – saját weblapja szerint – már az iskola előtt célszerű támogatni a mérnöki, pontosabban a repüléstudományok iránti érdeklődést.

Mivel a repüléstudományok fejlesztése, de az alkalmazása – azaz a repülőgépek működtetése – is jelentős elméleti felkészültséget és fontos szakmai ismereteket, egyedi képességeket igényel, a Polgári Repülés Nemzetközi Szervezete (ICAO) külön ajánlásokban foglalkozik az oktatás szervezésével, a szervezetek elfogadtatásával, minősítésével és a szakemberek vizsgáztatásával. Ezeket gyakorlatilag minden fejlett országban, az oktatás minden szintjén – közép- és felsőfokú képzés, szakszolgálati engedélyek megszerzése, rendszeres ismeret megújító és továbbképzések – alkalmazzák. (Sajnos ez a magyar felsőfokú szakemberképzésből teljesen hiányzik, a felkészítés során a repülő szakmai kontakt órák száma a nemzetközileg elvártnak a felét sem éri el [34]. A repüléstudományok alulértékelése sajátos helyzeteket okoz. Hírek szerint, az új felsőoktatási törvény bevezeti a repülőgép-vezetők alapképzését, de nem engedi repülőmérnökök, repülőszakemberek hasonló képzésének indítását.)

A sikeres repülőipar és a fejlett légiközlekedés másik fontos pillére a kutatás-fejlesztés.

Az 5. ábra is mutatja, hogy a kutatás-fejlesztés közösségi (adókból finanszírozott, állami) támogatást igényel, mivel a profitorientált vállalkozások nem szívesen költenek olyasmire, aminek a haszna csak 5–15 évvel később jelentkezik. Ezért még a fejlett országokban is törvényeket hoztak a támogatások biztosítására (1. táblázat) [29][35].

Ország	A törvény megjelenésének ideje és címe
Ausztria	1981, kutatás-fejlesztési törvény 1982, Innovációs és technológiai alap létesítése
Dél-Korea	1967, tudomány és technológiafejlesztési törvény 1968, ipari technológiai fejlesztési törvény 1969, nemzeti műszaki szakképzési törvény
USA	1980, Stevenson-Wydler-féle műszaki innovációs törvény
Franciaország	1982, kutatási-műszaki fejlesztési törvény 1985, tudománypolitika és technológiapolitika törvény
Japán	1985, a kutatás-fejlesztés ösztönzésének törvénye

1. táblázat Néhány példa a fejlett országok technológia politikáját segítő törvényekre

Jellemző, hogy a törvények ugyan minden államban kissé eltérő formában próbálják megoldani a kutatás-fejlesztés és az innováció támogatását, de alkalmazásukkal valamennyi országban később a teljes gazdaság fejlődése felgyorsult. Talán az amerikai Stevenson-Wydler műszaki (technológia) innovációs törvényt célszerű külön is kiemelni. Ennek rendelkezései szerint a közösségi támogatás 0,5%-át kell felhasználni arra, hogy az eredményeket átadják az alkalmazóknak, felhasználóknak. Ráadásul minden olyan intézmény, ahol a kutatás-fejlesztés fordított összeg eléri az évi 20 millió dollárt, a törvény által elhatározott technológia transzfer segítésére főállású szakembert is szükséges alkalmazni. (Abban az időben mikor az egyetemek megalapították, – a technológiák védelmében – a szabadalmaztatással és a technológiai transzferrel foglalkozó szervezeteiket, ezek sajnos évekig ráfizetésesen működtek. 5–10 évvel később viszont már nemcsak némi jövedelemre, de az egyetemek költségvetésének akár 5–8%-át is kitevő bevételre is szert tettek.)

A megfelelő vállalászási környezet kialakításához tehát nemcsak létre kell hozni a megfelelő innovációs környezetet, de gondoskodni kell annak a megfelelő működéséről is. (Ki kell várni, amíg az eredmények is megjelennek.)

A repülőipar és a légiközlekedés fejlesztésének elsődleges eleme a közösségi forrásokból támogatott szakmai képzés, továbbképzés, valamint az alap (BSc, MSc) és alkalmazott (kutatóintézeti) kutatás-fejlesztés nemzetközi szintű működtetése, az ezt biztosító (törvényekkel támogatott) környezet kialakítása, továbbá a technológia transzfer megoldása, azaz az eredmények sikeres átadása a profitorientált cégeknek.

2.2. A környező államok repülésfejlesztési stratégiái

Minden állam saját belső körülményei, sajátosságai függvényében, a környezethez képest határozza meg a repülőiparának fejlesztési stratégiáját, de sajnálatosan ebből kevés az egységes formába öntött és nyilvánosan közzétett változat. Ezt talán az is magyarázza, hogy a legtöbbet rendszeresen felülvizsgálják és folyamatosan a külső, belső változásokhoz igazítják. Mindezek ellenére egy sor lényeges sajátosság megfogalmazható a környező államok repülési, repülőipar

fejlesztési tapasztalatai alapján. Meglehetően a következő összefoglalás kissé szubjektív és alapvetően a magyar fejlesztési stratégia szempontjából követendő sajátosságokat emeli ki. (Az elemzéshez több tucat forrást kellett áttekinteni. Az irodalmi hivatkozások csak a legfontosabb, a legérdekesebb, vagy a legáltalánosabb információkat tartalmazókra hívják fel a figyelmet.)

Ausztria

1998-ban az osztrák Közlekedés, Innováció és Technológia Minisztérium felkérte az Osztrák Repülőipari Csoportot, hogy állítsa össze a szektor gyors fejlesztését támogató nemzeti repülési programot. Ezt 2001-ben terjesztették a Kutatási és Technológia Fejlesztési Tanács elé támogatásra, mely a javaslatot elfogadta és 2002-ben megindította az osztrák repülés, repülőipar fejlesztését támogató Take-Off programot [30]. Ezt 2007-ben hozzáigazították a 2006-ban kezdeményezett Repülés Kutatás, Technológia, Innováció stratégiához.

A Take-Off programnak két fontos célkitűzése volt/van:

- az osztrák kutatók és vállalkozások támogatása a stratégiai európai és nemzetközi partneri kapcsolataik fejlesztésében, és a
- a lokális vállalkozások támogatása új piaci fejlesztéseikben.

A program hosszú távú célja, hogy a támogatások révén növelje az osztrák repülőipari szektor értékesítési mutatóit, fokozva a csúcstechnológiai termékek részesedését, elérve ezzel a magasan képzett és védett munkahelyek számának emelkedését.

A program öt területre terjedt ki:

- speciális repüléstudományi kutatásokra,
- minősítő mérésekre,
- szertifikációs offenzívára,
- kockázat-megosztás és technológia validációs program hosszú távú modelljeire,
- nemzetközi részvételre.

A 2007-es felülvizsgálat során a program úgy módosult, hogy célként fogalmazták meg az osztrák részvétel növelését az európai kutatás-fejlesztési programokba.

A program és eredményeinek az elemzése alapján három fontos tényezőt célszerű kiemelni:

- kutatás-fejlesztéstől a piaci részesedés növeléséig terjedő teljes vertikumot támogatja,
- kifejezetten a tudás-alapú és a csúcstechnológiák fejlesztését támogatja,
- a minősítő és szertifikációs eljárásokat kiemelten kezeli.

Ez utóbbira pl. jellemző, hogy az első négy év alatt 13 továbbképzésen, 52 vállalkozás, 290 szakembere tanulmányozta a szertifikációs eljárások alapjait, módszereit. 16 vállalkozást jutattak el a POA (production organisation approval), illetve DOA (design organisation approval) nemzetközi (EASA) minősítéshez.

A program első eredményei négy fontos területen: kompozit anyagok, fémek és fémmegmunkálás, ATM, valamint az általános repülés fejlesztésében jelentkeztek. Ennek hatását a saját termékek (repülőgép, repülőgépmotor stb.), fontos alkatrészek értékesítése (pl. beszállítás a Boeing 787 Dreamliner, vagy a kínai regionális repülőgép, az ARJ21 gyártásához), és önálló vállalati expanzió jellemzi (pl. a kisrepülőgépeiről nevezetes Diamond cég Amerikában és Kínában is bázist épített ki).

Lengyel eredmények

Egy 2009-ben zárult vizsgálat Kelet-Európából egyedül a lengyel PZL – Swidnik sa Wytrońnia Sprzetu Komunikacyjnego céget tartotta érdemesnek figyelembe venni a polgári repülőipar globális kulcsszereplőinek a rangsorában. A vizsgálatban a PZL – Swidnik a 28. helyen szerepelt a 36-os, csak a polgári repülőipari aktivitást figyelembe vevő listán, nem véletlenül. A lengyel repülőipar ugyan – a magyarországi repülőgépgyárakhoz képest majd 15 évvel később – 1928-ban indult a Warszawa-Okecie megalapításával, a fejlődése azonban „törtelen” volt. A II. világháború idején a németek Messerschmitt-tel folytatta a termelést, majd a háború után az orosz MiG-15-ös vadászrepülőgépeket gyártottak. Később helikoptereket, gázturbinás gyakorló repülőgépeket, speciális célú repülőgépeket, dugattyús repülőgépmotorokat, és gázturbinás hajtóműveket is készítettek. Érdekes módon utóbbiak közül a RollsRoyes replikák voltak az elsők, melyeket a MiG vadászrepülőgépekbe szerelték be.

A további törtelen fejlődésre utal, hogy a Pratt and Whitney már 1976-ban kooperációs szerződés kötött a WSK PZL Rzeszow S. A. gyárral, amely ma már 100%-ban a United Technology Corporation (UTC) tulajdonában áll. A tulajdonosi jogokat a Pratt&Whitney Corporation (PWC) keresztül gyakorolják. A vállalatnak több, mint 4000 alkalmazottja van. A lengyel repülőipart is megviselte a rendszerváltás. A foglalkoztatottak létszáma majd felére esett vissza. A lengyel vezetés felismerve a repülőipar jelentőségét igyekezett megtartani a tehetségesebb dolgozókat. Hamar találtak is külföldi befektetőket. A Goodrich a Kroszno gyártelepbe lépett be. Itt ma F-16-os repülőgépekhez készítenek kerékagyakat. Fontos, követendő sajátosság, hogy az F-16-osokhoz hajtóműveket és alrendszereket is gyártottak, gyártanak a rzeszowi és a krosznoi gyárakban. A tervek szerint a jelenlegit leváltó vadászrepülőgépekhez is fognak kerékagyakat előállítani. A második legnagyobb lengyel repülőgépgyárat, a Mielecben lévő Polskie Zakłady Lotnicze PZL-t a Sikorsky szerezte meg, ahol jelenleg a Black Hawk helikopterek gyártása folyik.

A rendszerváltás után a lengyel repülőiparba a befektetések 40–50%-át amerikai cégek kezdeményezték. Ez némi értetlenséget is váltott ki az EU-ban [37]. Lengyel vélemények szerint az EU repülőipari befektetői kezdetben hezitáltak. A helyzet annyit változott, hogy az MTU nemcsak gyártást, de kutatás-fejlesztést is telepített Lengyelországba. Megjelent a kis-közepes német családi cég a Remog, a francia Safran csoport. Még 2001-ben az EADS megvásárolta a PZL Warszawa-Okecie egy részét, ahol 2013-ban a ma Airbus Military-hez tartozó bázis 830 munkavállalóval 41 millió EUR bevételt termel. Ugyanott jelen van a General Electric is egy mérnöki szolgáltatásokat nyújtó központtal. 2009-ben pedig az Augusta Westland (Finmeccanica group) szerezte meg a 3000 embert foglalkoztató PZL Swidnik helikoptergyár 87,6%-át.

A lengyel repülőipar fejlesztéséhez nagyban hozzájárult a Krakow-tól keletre kialakított Aviation Valley, melynek központja Rzeszowban található. Ez az egyetlen repülőipari klaszter Lengyelországban, melynek céljai:

- állami vállalkozások privatizálásának elősegítése,
- viruló cégek létrehozása,
- új piacok nyitása,
- a termelés elmozdítása a polgári repülőipar felé.

Egyes bírálók szerint az Aviation Valley infrastruktúrája kissé szegényes, de ezt ellensúlyozza a lengyel innovációs környezet, melyre már a szocialista időszakban is jellemző volt, hogy a fejlesztők szorosan együttműködnek az egyetemekkel és igyekeznek csúcstechnológiai termékeket előállítani. Ez utóbbira jellemző pl. a WSK „PZL-Rzeszow” S.A. egykristály turbinalapát fejlesztése, vagy a Repüléstudományi Kutatóintézet pilóta nélküli helikopter projektje (6. ábra).



6. ábra Lengyel pilóta nélküli helikopter a 2012-es Berlin Airshow-n (a szerző felvétele)

Ma a lengyel repülőipar közel 130 vállalatánál, több mint 18 ezer munkavállaló, évente 1 milliárd EUR-ot meghaladó értékű terméket állít elő, közvetlen a repülőgép alkatrészek, hajtóművek repülőgépek formájában, melynek több, mint 90%-át exportálják [37].

A lengyel stratégia alapját a Lengyel Repüléstudományi Technológiai Platform és a Repülőipar Klaszter közösen alakította ki, az EU ACARE Stratégiai Kutatási Agenda alapján. Ennek fejlesztési céljai:

- a kutatás-fejlesztés a laboratóriumok és az egyetemek fejlesztése,
- világszínvonalú gyártási környezet biztosítása,
- tulajdonosi váltás,
- a folyamatok átstrukturálása.

Ez utóbbi, a folyamatok átstrukturálása szintén megszívlelendő. A lengyel repülőipari stratégia fejlesztési célja, hogy a OEM (original equipment manufacturer) helyzettől, vagyis abból, hogy terméket vásárolnak és az abból gyártottat értékesítik egy vállalat, vagy harmadik piac számára, elmozduljanak a saját termékek gyártása irányába, és ezzel bekapcsolódnak a globális beszállítói piachoz.

A lengyel repülőipar fejlesztői különös gondot fordítanak arra, hogy a nemzetközi együttműködések fokozzák. Berlinben és Brüsszelben is irodát nyitottak, minden jelentősebb munkacsoportban, valamennyi szervezetben tagsággal rendelkeznek, aktívan részt vesznek. Kutatóiknak lehetőséget biztosítanak arra, hogy neves nemzetközi konferenciákon, rendezvényeken megjelenjenek akár a tengerentúlin is. Nem véletlen, hogy a kisrepülőgépes fejlesztések vezetését is felvállalták [38].

A lengyel repülőipari fejlesztés volumenére jellemző [39], hogy

- 8 millió EUR támogatást kapott a Rzeszovi Műszaki Egyetem Anyagtudományi Laboratóriuma,

- a „Modern anyagok a repülőipar részére” projekt keretében 26 millió USD támogatást kapott 7 műszaki egyetem 290 kutatója a strukturális alapokból(!),
- az „Egykristály és az irányított kristályos anyagok” fejlesztésére 4 egyetem és 1 gyár, 4 millió EUR támogatáshoz jutott,
- „Hő korlátok” címen 8 egyetem és egy gyár projektje kapott szintén 4 millió EUR-t,
- évente 6 millió USD támogatásra lehet kutatás-fejlesztéssel pályázni, ami mintegy 20 egyidejűleg futó projektet jelent.

Egy másik fontos jellemző, hogy a lengyel repülőipar kialakította és nagyszerűen fejleszti az Aviation Valley-t, ahol 2003-ban 18 vállalat 9 ezer alkalmazottat foglalkoztatva a repüléshez köthető csúcstechnológiai termékekkel gyártásával és szolgáltatások nyújtásával 250 millió EUR bevételt ért el, míg 2011-ben már 86 vállalkozás 23 ezer dolgozóval több, mint 2 milliárd EUR bevételt realizált [39].

A Cseh repülőipar

A Cseh repülőipar helyzete és az utóbbi 20–25 éves fejlődési szakaszban – a szocializmus alatti teljesítménye alapján – hasonlít a lengyel gyakorlathoz, de attól részben az alkalmazott stratégia alapján gyökeresen el is tér. Ez talán a méretben és a korábbi eredményességben is keresendő.

Fontos, hogy a cseh repülőipar vezetői az iparuk korábbi tradícióira és a kiváló képzési, kutatás-fejlesztési bázisukra építve következetesen kiemelik, kapacitásait lefedik a teljes folyamatot a kutatás-fejlesztéstől, a tesztelésen, szertifikáción át a gyártásig. Különös gondot fordítanak a képességeik fejlesztésére, a szertifikáció, a termelés és az értékelés terén. Sajátosságuk, hogy a 20 üléses repülőgép nagyságig próbálnak vezetői európai gyártókká válni [40][41].

A kisrepülőgépek közt a csehek kiemelten kezelik a sportrepülést is. Érdekes, hogy ennek fejlesztését az EU FP programok nem támogatják, de a cseh nemzeti kutatás-fejlesztés példamutatóan az egyetemi kutatóhelyek fejlesztését és a kisrepülőgép programot összekapcsolva indított eredményes programot [42]. Az egyetem kapja a kutatási támogatást, de az eredményeket kötelesek átadni a légijármű végső terveit elkészítő gyártó cégeknek.

A cseh repülőipar másik stratégiai célja, hogy az európai repülőipar fontos beszállítója legyen a gyártás, összeszerelés (Aero Vodochody), a hajtóművek valamint rendszerek fejlesztése és gyártása (PBS, GE-Walter), azon belül elektronika, avionika (Unis, Mesit) és a hidraulikus elemek (Jihostroj) terén.

Végül a harmadik cseh stratégiai cél, hogy a repülőiparuk csatlakozzon az európai 100 ülésnél kisebb repülőgép fejlesztésébe, gyártásába.

A cseh repülőipar fejlesztését meghatározza az oktatás, kutatás-fejlesztés, saját cégek megtartása, kiemelt támogatása, a befektetések vonzása és a nemzetközi projekteken való részvétel fokozása. A kialakult rendszerben a csúcstechnológiai intézmények, gyárak területi megosztása azt mutatja, hogy törekednek a vidék egységes fejlesztésére is.

A cseh repülőipari nemzetközi lobbiját mutatja, hogy az EU FP repüléstudományi kutatási projektjein a 4–7. felhívások során összesen 292 projektben voltak részesek és 87-ben tartoz-

tak a nyertesek közé. Ezzel pályázati eredményességük 30%-os, kiváló. Az új Horizon 2020, a CleanSky2-ben a kisrepülőgépek fejlesztésével foglalkozó munkacsoport vezetői [43].

A cseh szakemberek, vállalatok nemcsak minden fontos nemzetközi szervezetben képviseltetik magukat, de oda aktívan tevékenykedő szakembereket is delegáltak.

Románia új utakon

A környező államok közül Románia is jelentős repülőiparral rendelkezett korábban. A tradíciókat, a fejlett oktatási rendszerüket és a fejlesztői kapacitással rendelkező szakembereiket sikeresen átmentették az állami intézményekbe, a privatizált cégekbe és a nemzetközi együttműködésekbe.

Mind Lengyelország, mind Csehország központilag támogatja és fejleszti a kutatás-fejlesztési bázisát. Román jellegzetesség, hogy a környező államok közül talán legnagyobb és nemzetközi szinten is jegyzet állami kutató-fejlesztő bázissal rendelkezik. A Carafoli nevét viselő INCAS-ban (Nemzeti Repüléstudományi Kutatóintézet) pl. szuperszonikus szélcsatorna is van. Az INCAS jelentős szerepet kapott a CleanSky projektben, a smart wing technologies fejlesztésben, többek közt a természetes és hibrid lamináris áramlások, az aktív és passzív terhelés kontrol vizsgálatában, de részt vettek pl. a törzs hátsó rész demonstrációs modelljének elkészítésében, valamint a modell és panelek akusztikai, kifáradási és hőterhelési vizsgálataiban [44]. Nem véletlen, hogy nagy szakember gárda vehetett részt a projektben (7. ábra). Lehet így is támogatni a repüléstudományt, nemcsak a szavak és a szólalom szintjén.



7. ábra A CleanSky megaprojektben résztvevő INCAS munkacsoport

Romániai érdekesség, hogy az állami mellett, két magán repüléstudományi kutatóintézet is működik [45]. Közülük az STRAERO-t (Institute for Theoretical and Experimental Analysis of Aeronautical Structures) már 1991-ben megalapították. Az intézet a repülőszerkezetek és anyagok kísérleti vizsgálata mellett, repülőeszközök vezérlőrendszerei vizsgálatával, tesztbe-rendezések tervezésével és telepítésével, valamint IT megoldásokkal is foglalkozik. További 6 intézményben is folyik repüléstechnikai fejlesztés, tervezés.

8 gyárban történik a repülőgépek, helikopterek, illetve repüléstechnikai alkatrészek gyártása. Példaként a bukaresti ROMAERO SA cégnél a következő fontosabb gyártási és javítási programok futnak: BAE-ATP teherajtó modifikálása alkatrészek, részegységek gyártása a Nimrodhoz, Boeing B757, 767, 777 típusokhoz, a GULFSTREAM G-200-hoz, az angol AIRBUS-hoz, a Hawker-hez, részvétel a SABCA Belgium vállalkozáson keresztül az A380-as gyártásában, az angol GKN beszállítójaként levegő szívócsatorna készítése az A320-hoz, az Augus-

ta Westland részére az A109 hátsó tartó gyártása, a BN-2 Islander és Defender teljes gyártása a Britten Norman Anglia részére stb. [45].

A román repülőipar új fejlődési szakaszában a szakemberek képzését úgy próbálják erősíteni, hogy a három repülőmérnökök képzésével foglalkozó felsőfokú intézmény programjait és oktatóit nemzetközi munkacsoport minősítette. A minősítési folyamatban részt véve a szerző számára különösen érdekes volt látni, hogy az intézményekben milyen jelentős a kutatási be-
rendezések fejlesztése, a nemzetközi publikálás és a könyvek írása.

A közép- és kelet-európai államok többsége a magyarhoz képest jóval nagyobb, megfelelően szervezett, gyorsan fejlődő repülőiparral és kapcsolódó fejlesztésekkel rendelkezik. Mindre jellemző, hogy kiemelten kezelik az oktatást, az egyetemek és a vállalkozások közös kutatását, a minőségbiztosítást és a szertifikációt, a nemzetközi kooperációt, a nemzetközi befektetését és a technológiai transzfer támogatását, valamint intenzíven támogatják a nemzetközi munkacsoportokban, szervezetekben való aktív közreműködést.

Az egyes országok azonban belső sajátosságaiknak és a nemzetközi együttműködési lehetőségeiknek megfelelően kissé eltérő kutatás-fejlesztési és gyártási területeket preferálnak.

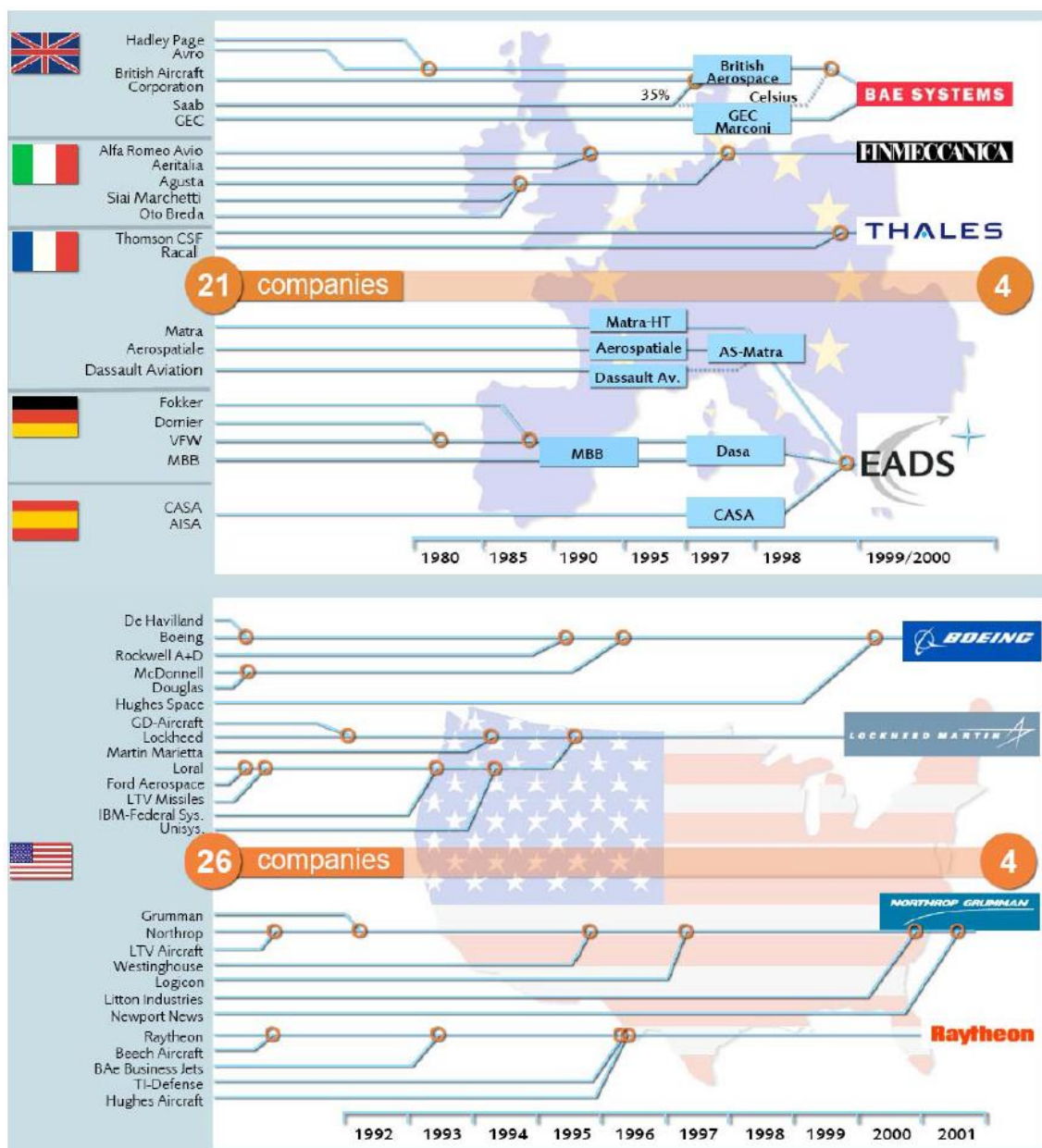
Ausztria gyakorlata azt bizonyítja, hogy viszonylag rövidtávon is jelentős eredményeket lehet elérni világos, egyértelmű stratégia kidolgozásával és következetes alkalmazásával.

2.3. Fejlett és fejlődő országok fejlesztési stratégiái

A II. világháború után, a gázturbinás repülőgépek megjelenésével új korszak kezdődött a repülőipari fejlesztésekben is. Még az 50-es évek közepéig is képes volt egyetlen vállalat, egy teljes repülőgépet megtervezni, kifejleszteni, gyártani. Ezt követően azonban a megindult a tőke és a fejlesztési kapacitás koncentrációja, így egyre fontosabbá vált ezekben a nemzetközi kooperáció. A repülőipar a '90-es évek elején mély válságot élt át, mely (egészen a repüléstudományi tanulmányokat folytatató egyetemi hallgatók számának a drasztikus visszaeséséig) a szektor minden elemére kihatott.

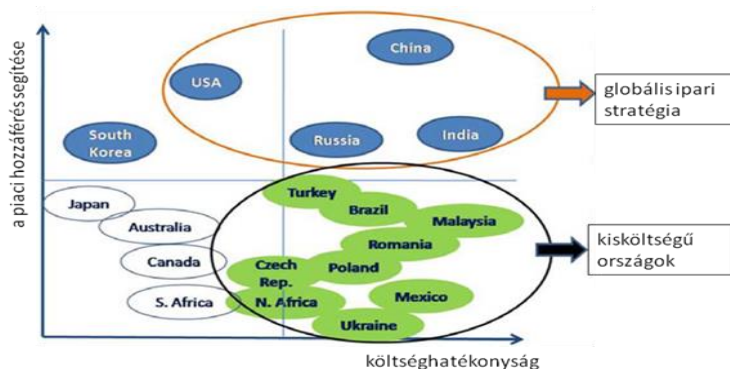
A válságnak hat fontos következménye lett:

- a fejlett államok (főképpen Amerika és Európa) között felerősödött a piaci verseny, valamint végbement a repülőipar konszolidációja (8. ábra). Drasztikusan lecsökkent a nagy repülőipari vállalatok száma;
- megnőtt az outsourcing-sourcing jelentősége. A vállalatok elkezdtek kiemelten kezelni az értékteremtő folyamatokat. A kulcsfontosságú képességekre, fejlesztésére koncentráltak. A többi, kevésbé fontos tevékenységi köröket kiszervezték (outsourcing), illetve egyre fontosabbá vált számukra a hozzáférés az új forrásokhoz (sourcing);
- lényegesen átszervezték és leegyszerűsítették a beszállítói rendszert. Az Airbus pl. a mintegy 18 ezer beszállítója helyett háromezernél kevesebbel tartja a kapcsolatot. A kiemelt beszállítóknak, klasztereknek viszont saját beszállítói, tagjai vannak. Ennek megfelelően felértékelődött a rendszerintegráció szerepe.



8. ábra Az európai és az amerikai repülőipar konszolidációja [36]

- Teljesen megújult a kutatás-fejlesztés-gyártmány és gyártástervezés-gyártás-értékesítés folyamat és annak menedzselése. Egyfelől az ún. ötödik generációs innovációs folyamatot alkalmazva, a fejlesztés hálózat-központú rendszerbe valósul meg, melyben a beszállítók, a vevők, sőt a versenytársak is szerepet kapnak. Másfelől, a teljes innovációs folyamatban, különösen a gyártásban alkalmazzák az új tudományos és technológiai alapokat, ide értve pl. a műszaki rendszerek tudományát (systems engineering), a logisztikát, a lean-technológiát.
- A vállalatok számára egyre fontosabbá vált a hozzáférés a közösségi kutatás-fejlesztési támogatásokhoz. Ennek köszönhetően megnőtt a repülőipari cégek aktivitása a nemzeti és a nemzetközi kutatási projektekben (lásd pl. CleanSky programot [46]).
- Az innovatív kisvállalatok szerepének a felértékelése és eredményeik az alkalmazása.



9. ábra: Regionális hatások a globális stratégiai célokban [36]

E folyamatokat külön-külön is hosszasan lehetne vizsgálni és értékelni, például az outsourcing-sourcing folyamatra jellemző – a 9. ábra bemutatott – globális felosztást.

A *fejlett államok* repülőipari fejlesztési stratégiáját azonban csak azért érdemes tanulmányozni, hogy értékelni lehessen, miként csatlakozhatunk ahhoz.

A *fejlődő országok* (többek közt Dél-Korea, India, Kína, Mexikó) megértették, hogy a technológiai versenyben maradásuk egyik fontos feltétele a repülőiparuk fejlesztése. Az általuk követett fejlesztési stratégiák közül különösen figyelemre méltó Dél-Korea, Brazília, Dél-Afrika, vagy Mexikó gyors felzárkózása a fejlett államokhoz. Mindegyikre jellemző, hogy saját piacának a mérete, a védelmi képességeinek a fejlesztése már megalapoz egyfajta fejlődési igényt. A tényleges fejlesztéshez ugyanakkor technológiai, politikai váltásra volt szükség.

Dél-Korea az elsők közt segítette törvénnyel az innovációt, beindította az oktatásának korszerűsítését, kihasználta a technológiai transzferben rejlő lehetőségeket, majd megjelent saját fejlesztésekkel [27]. Ma az egyik legjobb sugárhajtású gyakorló harcászati repülőgép a KAI T-50-es is a koreai gyártású.

Brazíliában [47] a fejlődést a védelmi ipar alapozta meg. A magyar származású Kovács (José) József professzor által tervezett vadászrepülőgépekből ezernél is többet gyártottak, legismertebb típusa talán a Rafael volt. Brazília felismerve, hogy nyitni kell a polgári repülés felé melynek polgári szegmensén belül a regionális területre viszonylag könnyű bejutni, piacot szerezni. Az erős állami háttér mellett 1993-ban megalakult a Brazil Repülőipari Egyesület, mely a repülő-, űr- és védelmi ipari kisvállalatokat, jellemzően a start-up, spin-off cégeket fogja össze. Ez az egyesület és az egyetemi-kutatás fejlesztése alapozta meg a piaci részesedés növelését a csúcstechnológiai termékek közt. A vállalkozások és az egyetemek munkájának összehangolására ún. tervezői házak hálózatát alakították ki. A polgári és katonai repülőgépeket is gyártó Embraer S.A. repülőipari cégcsoport ma már a kanadai Bombardierrel azon verseng, ki lesz az Airbus, Boeing után a harmadik legnagyobb repülőgépgyártó. A fejlesztések további segítésére a brazil kormány 200 ezer ösztöndíjat adományoz hallgatóinak európai egyetemi résztanulmányok folytatására. A kedvezményezettek közt – az eddigi gyakorlat szerint – még a BME-en is több repüléstudománnyal foglalkozó hallgató jelent meg.

Dél-Afrika 2000-ben kezdett foglalkozni a repülőiparának a helyzetével. 2002-ben a Tudomány és Technológia Minisztériuma útjára indította a repülőipari fejlesztési stratégiát, mely felért egy paradigmaváltással [48]. 2004 végén az Armscor cég szerződést kötött az A400M

repülőgép gyártásába való közreműködésre. A programba egy sor kisvállalat is bekapcsolódhatott, amelynek méretére jellemző, hogy 20 év alatt 750 millió EUR bevételt jelent a dél-afrikai résztvevőknek. Látható, hogy lehet akár viszonylag nagy ugrással is előre lépni.

A nemzetközi gyakorlatot sokáig lehetne még vizsgálni, de talán még egyet érdemes kiemelni. Egyes vélekedések szerint Mexikó nagy szerencséje, hogy a „nagy testvér” (USA) árnyékában él, ezért könnyű segítenie a technológiai befektetéseket. Másként lehet azonban ezekre a befektetésekre tekinteni akkor, ha hozzátesszük, hogy jelenleg a repülőmérnöki kurzusokon többen tanulnak Mexikóban, mint az Egyesült Államokban.

A fejlett országok kiemelt figyelmet fordítanak a csúcstechnológiai előnyt biztosító repülőipari vállalkozásaik fejlesztésére, védelmére. Ennek értelmében támogatják, támogatják a repülőipar konszolidációját, a széles körű outsourcing-sourcing folyamatot, a beszállítói lánc átszervezését, az új módszerek, eljárások, mint a mikro-elektro-mechanikai eszközök, a nanotechnológia, a lean-technológia, alkalmazását, a kutatás-fejlesztési forrásokhoz való hozzáférést.

A fejlett államok repülőipari változásait megismerve megtalálhatóak azokat a pontok, melyekhez a fejleszteni kívánt hazai repülőipar csatlakozhat.

A fejlődő országok repülőipar fejlesztési stratégiái különböző területekre koncentrálnak a belső piaci viszonyok, a tradicionális eredményeik és a globális lehetőségek függvényében. Abban azonban közösek, hogy központi akarat nyilvánul meg a fejlesztési eredmények mögött, valamint kiemelten kezelik az oktatás, kutatás, a kreatív vállalkozások támogatását, és ehhez megadják a globális gazdasághoz való csatlakozás lehetőségét, súlvponti kérdésként kezelve a nemzetközi kooperáció segítségét.

ÖSSZEFOGLALÓ ÉRTÉKELÉS

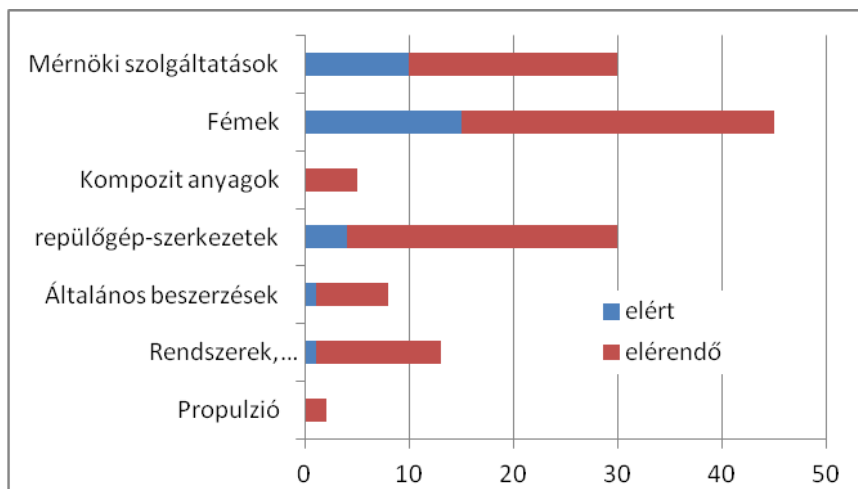
(A magyar repülőipar, légitársaságok fejlesztésének lehetséges módszertana)

Az egyes alfejezeteket lezáró keretes szövegek már összefoglalják az ott leírtak legfontosabb tanúságait. Ennek ellenére érdemes a magyar repülőipar fejlesztése szempontjából általánosabban is átgondolni annak stratégiai fejlesztése legfontosabb szempontjait és a kidolgozás során alkalmazható módszertant.

A 10. ábra jól példázza, hogy van hova fejlődni. A nagy repülőgépgyártók az elkövetkező időkben sok vállalkozásnak adnak lehetőséget. Persze nem olyan kisvállalatot keresnek, mely a repülőgép teljes tervezését, fejlesztését, esetleg gyártását akarja megoldani. Olyanok érdeklik őket, aki megfelelő új anyagokból, új technológiákat alkalmazva jól rendszerbe integrálható új repülőgépelemeket, berendezéseket képesek gyártani. (Az is igaz, ha valaki egy kisrepülőgépet tud készíteni, jobban meg tudja oldani a repülőgép-alkatrész gyártását is.)

Természetesen léteznek jó hazai kezdeményezések. Ilyen pl. a magyar magánszemélyek által 2003-ban létrehívott Magyar Repülőiparért Alapítvány [49], mely igyekszik összehangolni a hazai repülőipari fejlesztéseket, a kormányzati elvárásokkal és a nemzetközi igényekkel [32]. Ugyanilyen fontos, a 2011-ben, több száz szakember közös munkájaként elkészült (de sajnos

szélesebb körben ismertté nem vált) a Nemzeti Légügyi Stratégia [50], mely széles körű elemzés után, kiérlelt elképzeléseket foglalt össze.



10. ábra Az EADS (European Aeronautic Defence and Space Company) előrejelzése szerint a globális beszállítási arány a felhasználás %-ában (a jelenlegi - elért, és a 2020-ig elérendő arány)

Jelen tanulmány céljával összhangban, a tárgyaltak, a legfontosabb gondolatok a következő egyszerű és áttekinthető formában foglalhatóak össze:

- ➔ a repülőipar szerepe a gazdaságban, társadalomban:
 - *mint csúcstechnológiákat használó iparág*, az űripar és a védelmi ipar mellett egyike a három legnagyobb hozzáadott értéket teremtő területnek, melynek fontos a katalizáló (a más területekre kifejtett ún. begyűrűző) hatása van;
 - közvetlen és pozitívan kapcsolódik a védelmi iparhoz;
 - megértése, értékelése, fejlesztése a többi iparágától eltérő sajátos tudást kíván;
- ➔ nemzetközi sajátosságok:
 - a fejlett államok kiemelten kezelik, támogatják és védik a repülőiparukat;
 - a fejlődő országok közül a feltörekvők többsége jelentős összegeket investál a repülőiparba. Brazília és Mexikó (látványos fejlődést produkáló, repülőipari multinacionális cégeket vonzó beruházási politikája) mellett más országok, például Dél-Korea és Dél-Afrika is példát adhatnak a sikeres felzárkózásra;
 - a hozzánk hasonló méretű (Hollandia, Ausztria) és hasonló gazdasági körülményeket megőrző (Csehország, Lengyelország, Románia) országok jóval nagyobb repülőiparral rendelkeznek;
- ➔ a gyorsan fejlődő repülőiparral rendelkező országok gyakorlata, közös elemek a sikeres repülőipar fejlesztésében:
 - az adott országokban a legmagasabb szinten megvan az elkötelezettség az iparág fejlesztésére, a védelmi iparral való összehangolására;
 - elismerik a repülőipar csúcstechnológiai katalizáló szerepét, ezért innováció- és befektetőbarát környezetet alakítanak ki, segítik az oktatást, a kutatás-fejlesztést és a tudástranszfert;
 - külön figyelmet fordítanak a nemzetközi kooperációra, kezdve a kutatási együttműködéstől, a nemzetközi szakmai szervezetekben való közreműködésen át a vezető repülőipari cégekkel kiépítendő kapcsolatokig.

A magyar repülőipar fejlesztési stratégiájának a kidolgozásakor a következő módszertan alkalmazása javasolt.

- széles körű helyzetfelmérés ide értve a hazai és a nemzetközi sajátosságokat is;
- *az általános feltételek* (makro- és mikro gazdasági valamint iparági sajátosságok) *felmérése*, PEST (Political, Economic, Social, Technological) elemzés, Porter féle iparági vizsgálat, SWOT analízis, profil analízis stb.;
- *az európai lehetőségek vizsgálata*, a nemzetközi gyakorlatból átvehető megoldások behatárolása;
- *a jelenlegi és a várható iparági változások* (pl. a beszállítókkal szembeni elvárások terén megfigyelhető változások, követelmények) *elemzése*;
- a stratégiai cél és annak eléréséhez szükséges feladatrendszer meghatározása;
- *a hazai stratégiai cél* lehetséges meghatározása: a magyar nemzetgazdaság fejlődése szempontjából fontos, hogy az ország erősítse szerepvállalását és pozícióit a magas technológiai fejlettségű iparágakban, így a repülőiparban is. Ennek megfelelően célkitűzés, hogy a magyar repülőipar fejlettségében tíz éven belül utolérje a régió hasonló méretű fejlett repülőiparral rendelkező országait, Ausztriát és Csehországot valamint a repülőiparban dolgozók létszáma minimum a kétszerezésére nőjön, és érje el az 5–6 ezer főt,
- *a stratégia cél elérését segítő döntési és keretrendszer kidolgozása, kialakítása*. A célt elfogadó politikai döntés után, pénzügyi és humán erőforrást kell rendelni a feladatokhoz. Elkülönített pénzügyi forrást szükséges biztosítani valamint az állami és a piaci résztvevők között a fejlesztést szolgáló koordinációs mechanizmus is ki kell alakítani;
- *elengedhetetlen meghatározni az alágazati* (mint repülőgép aerodinamikai fejlesztése, anyagtudományi kutatások stb.), a szervezeti és az infrastrukturális rendszer kialakításához az átstrukturálási feltételeket;
- a feltétel rendszert biztosítása;
- *infrastruktúra és működési feltételek* biztosítása. A strukturális és más alapok terhére infrastruktúra fejlesztési pályázatokat kell kiírni, valamint ehhez elengedhetetlen biztosítani, a működési feltételekhez (ide értve pl. a nemzetközi szakértők alkalmazására, a nemzetközi szervezeti tagságra, a lobbijellegű tevékenységekre) szükséges finansziális igényeket;
- *humán feltételek* kialakítása. repülőszakemberek képzésnek újraindítása (többek közt a felsőfokú repülőmérnöki képzéseket is), a szakemberek speciális (pl. tesztmérnök, szertifikációs mérnök) továbbképzése, csatlakozó menedzseri képzések (pl. repülőipari beszállítói szakemberek) indítása;
- *kutatás-fejlesztés*: külön keret biztosítása a repüléstudományi, a repülőipari és az azokhoz kapcsolódó kutatás-fejlesztésre.

Az itt leírt rövid áttekintés – szükségszerűen – nem teljes, de talán jól mutatja a magyar repülőipar fejlesztésének szükségességét és lehetőségeit. Nem mellesleg arra is felhívja a figyelmet, a velünk együtt fejlődő, környező országokhoz képest (Románia, Lengyelország, Csehország) már beködolt a lemaradásunk, mivel nem igyekszünk elérni a csúcstechnológiai forrásokat.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dumovich, E.: The 1st ... and the best, http://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2006/december/ts_sf12.pdf
- [2] Rohács, J.: A repülőgépek fejlesztésének történetét meghatározó törvényszerűségek, "100 éves a géprepülés" Tudományos Konferencia Szolnok, 2003 április 1.", Nemzetvédelmi Egyetem, CD-ROM, pp. 1-23.
- [3] Csanádi N., Nagyváradai S., Winkler L.: A magyar repülés története, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
- [4] Rohács J.: Repülőmérnökök képzése a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. "A Galambtól a Griffmadárig, A magyar katonai repülés története" (szerk. Dr. J. Szabó), HM Térképészeti és Nonprofit Kft., 2010, ISBN 978 963 257 183 6, 265-283 o.
- [5] Rohács, J.: Gondolatok, háttéranyagok a repülés, repülőipar stratégiai szerepéről, Repüléstudományi Közlemények, 2015.
- [6] Mintzberg, H.: Strategy - making in three modes, California Management Review, Winter, 73, Vol. 16. issue 2. p. 44 - 53
- [7] Sage, A. P., Rouse, W. B.: Handbook of systems engineering and management, Wiley, 2009.
- [8] Kaplan, R. S., Norton, D. P., Barrows, E. A.: Developing the strategy: Vision, value gaps and analysis, Boston: Harvard Business School, 2008
- [9] Montobbio, F.: Sectorial Specificity in the Relation between Technology and Market Share Dynamics, 1998, see <http://www.intech.unu.edu/publications/conference-workshop-reports/lisbon/montob.pdf>
- [10] Laudan, R. (eds.); The Nature of Technological Knowledge. Are Models of Scientific Change Relevant? D. Reidel Publishing Company, Dordrecht. 1984.
- [11] Dosi, G.; Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation. Journal of Economic Literature, Vol. 26, 1988, pp. 1120-1171.
- [12] De Liso, N., Metcalfe, J. S.: On Technological Systems and Technological Paradigms. Some Recent Development in the Understanding of Technological Change, in Helmstadter, Pelman, E. (eds), Technological Progress and Economic Dynamics, University of Michigan Press., Ann, Arbor. 1966.
- [13] Nelson R.R, Winter S.G.: An Evolutionary Theory of Economic Change, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1982.
- [14] Malerba, F.: Learning by Firms and Incremental Technical Change, The Economic Journal, 102, 1992, pp. 845-859.
- [15] Rüdiger, M., Vanini, S.: Das tacit knowledge - Phänomen und seine implikationen für das Innovationmanagement Die Betriebswirtschaft, Vol. 58, 1998, No. 4.
- [16] Rothwell, R. "Towards the Fifth-Generation Innovation Process", International Marketing Review, Vol. 11. 1994, No.1. Pp. 7 - 30.
- [17] Dodgson, M., Gann, D. M., Salter, A. J.: The Intensification of Innovation Science and Technology Policy Research, Electronic Working Paper Series, Paper No. 65, SPRU (Science and Technology Policy Research, University of Sussex), 2001, available at <http://www.insme.info/documenti/sewp65.pdf>
- [18] Christensen, C. M.: The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail, Boston, Massachusetts, USA: Harvard Business School Press, 1997.
- [19] Rohács, J.: New Technology Development and Deployment, The proceedings of the First International Scientific Workshop Extremal and Record-Breaking flights of the UAVs and the Aircraft with Electrical power plant, ERBA 2013, ISBN 978-5-9905203-1-8, pp. 4 – 17.
- [20] Norman, D. A.: The invisible computer, Why good products aan fail, the personal computer is so complex, and information appliances are the solution, MIT Press, 1998.
- [21] Kroo, I.: Innovations in Aeronautics. 42nd Aerospace Sciences Meeting, Paper number AIAA 2004-0001, Jan. 2004.
- [22] McBreen, B. B.: Notes on The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail, Clayton M. Christensen Cambridge, Massachusetts: Harvard Business School Press, 1997, <https://gist.github.com/dscape/839384>, accessed at 2013)
- [23] Samuelson, P. A., Nordhaus, W. D.: Economics, 17th Edition, McGraw-Hill, 2001.
- [24] Nieto, M., Lopéz, F., Cruz, F.: Performance analysis of technology using the S curve model: the case of digital signal processing (DSP) technologies, Technovation, Vol. 18. 1998, Iss. 6 - 7, Jan. 1998, pp. 439 - 457
- [25] Rogers, E.M.: The Diffusion of Innovations, 3rd Edition, Free Press, New York, NY., 1983.
- [26] Moore, G. A.: Crossing the Chasm, Harper Business essential ISBN: 0-06-051712-3, 1991

- [27] Cho, M-C.: Restructuring of Korea's defence aerospace industry, challenge and opportunities, Bonn International Center for Conversion, paper, 28. Bonn, 2003.
- [28] Rohács J.: Sikeres EU projektek eredményei - radikálisan új technológiák fejlesztése, Innováció és fenntartható felszíni közlekedés konferencia (IFFK 2012), Budapest, Magyar Mérnökakadémia Symposium, 2012, (szerkesztő Péter T.), ISBN 978-963-88875-2-8 (CD-ROM), ISBN 978-963-88875-3-5 (on-line) paper 5. 26 - 43 old.
- [29] A magyar kis-közepes vállalatok innovációs képességének fejlesztése (témavezető: dr. Pakucs János, megbízó: OM Kutatás-Fejlesztési Államtitkárság,) tanulmány I. II. kötet), Magyar Innovációs Szövetség, Budapest, 2002.
- [30] TAKE OFF Preliminary Results from the Aeronautics Research and Technology Programme, Federal Ministry of Transport, Innovation and Technology (BMVIT, Vienna, 2007
- [31] Schmitt, D.: Bigger, faster, greener, cheaper? Developing the AIRBUS response to the European Vision 2020 demands, lecture presented on 24th ICAS Congress Yokohama, Aug. 31, 2004.
[http://www.icas.org/media/pdf/ICAS Congress General Lectures/2004/C. ICAS 2004-Schmitt, Airbus.pdf](http://www.icas.org/media/pdf/ICAS_Congress_General_Lectures/2004/C_ICAS_2004-Schmitt_Airbus.pdf)
- [32] Rohacs, J.: New technology development and its evaluation, 7th International conference Supply on the Wings, AIRTEC, International Aerospace Supply Fair 7-8 November, 2012, Frankfurt, Germany, CD-ROM , ISBN 978-3-942939-05-8D44_Rohacs_paper_vonRD, PP. 1 - 14
- [33] Hideg, M., Rohacs, J.: Development of the Hungarian Aeronautical Industry, 5th International Conference "Supply on the wings" Aerospace – The global industry, November 2 – 4, 2010, Exhibition Centre Frankfurt / Main Germany, Conference Proceedings, AIRTECH GmbH and Co. KG, 2010 ISBN 978-3-942939-00-3 p.10.
- [34] Aeronautics Blueprint: Towards a Bold New Era in Aviation, National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2002. NASA, Washington, D.C.
- [35] Kövesné, Gilicze É., Rohács J., Zobory I.: Okleveles légiközlekedési és repülőgépész mérnökök képzése a Budapesti Műszaki Egyetem Közlekedésmérnöki Karán „Közlekedéstudományi Szemle”, 1994. No. 7. p. 262-268.
- [36] Rohacs, J.: Innovációs folyamatok a légiközlekedésben, jegyzet, BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, Budapest, 2005,
- [37] FWC Sector Competitiveness Studies - Competitiveness of the EU Aerospace Industry with focus on: Aeronautics Industry Within the Framework Contract of Sectoral Competitiveness Studies – ENTR/06/054, final report, Munich, 2009.
- [38] The aviation sector in poland, Sector Profile, Polish Information and Foreign investment Agency, 2013
- [39] EPATS - European personal Air Transportation System, <http://www.epats.eu/>
- [40] Haligowski, R. Initiatives for Aeronautics RTD in Poland, transformation and Innovation in industry. Aeroday, 2011, <http://www.airtn.eu/downloads/6h2.pdf>
- [41] CESAR - Cost-Effective Small Aircraft, Integrated Project, EU FP6,
http://ec.europa.eu/research/transport/projects/items/cesar_en.htm
- [42] ESPOSA - Efficient Systems and propulsion for Small Aircraft, <http://www.esposa-project.eu/en/efficient-systems-and-propulsion-for-small-aircraft-2.html>
- [43] Pistek, A., Hlinka, J.: Aerospace Research at Brno University of Technology - Czech Rep. and Cooperation with European Universities and Cooperation with European Universities and Institutions,
http://www.dlr.de/aeronautics-conference/Speeches/Session1_Pistek.pdf
- [44] Kovar, J.: Czech National Aviation Approach till y. 2020, <http://www.airtn.eu/downloads/6h3.pdf>
- [45] Success Story : INCAS participation to EU JTI Clean Sky,
http://www.upt.ro/administrare/dgac1/file/Cercetare_P/pdf/4. Romania in the European Research Area/4.3. Appendix 2 Success stories in FP7 projects/4.3.4. CleanSky.pdf
- [46] INCAS – National Institute for Aerospace Research “Elie Carafoli”,
<http://www.cleansky.eu/sites/default/files/documents/events/cs2-20130315/A1 - INCAS - Catalin Nae .pdf>
- [47] The Clean Sky JTI (Joint Technology Initiative), <http://www.cleansky.eu/>
- [48] Dewes, M. F., Padula, A. D.: Innovation in a strategic development program: the Aerospace Program in Brazil, Revista Brasileira de Inovação, Campinas (SP), 11 (1), p.169-194, janeiro/junho 2012, 169 - 193.
- [49] Sectorial analysis of the aerospace industry in South Africa, sector studies, research project, Department of Labour South Africa, 2008.
- [50] HAIF Magyar Repülőiparért Alapítvány, www.haif.org
- [51] Nemzeti légügyi stratégia, Budapest, 2011, http://www.haif.org/archiv/NLS_Final.pdf

**PRINCIPLES AND SPECIALITIES OF THE AERONAUTICAL
INDUSTRY DEVELOPMENT STRATEGIES**

The modern economy basically depends on development of its knowledge-based and high technologies sector. All the countries try sustain, enhance or just start, renew the development of their aeronautical industry and air transport. The aeronautical industry development strategies applied by different countries follow rather different goals and ways depending on the internal and external features, while they have - as it were law-determined - some important common elements, too. This paper tries help in definition of the Hungarian aeronautical industry development strategy with review of the aeronautical industry development strategies of a series of countries.

Keywords: *development strategy, aeronautical industry development strategy, development strategy developments*

Dr. ROHÁCS József, PhD
egyetemi tanár
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszék

jrohacs@vrht.bme.hu
orcid.org/0000-0002-4607-9063

ROHÁCS József, PhD
Professor
Budapest University of Technology and Economics
Department of Aeronautics Naval Architecture and
Railway Vehicles
jrohacs@vrht.bme.hu
orcid.org/0000-0002-4607-9063



Pokorádi László

KARBANTARTÁSI FOLYAMAT MONTE-CARLO SZIMULÁCIÓS ELEMZÉSE

Technikai rendszerek üzemeltetése egy, a berendezésekre, azok üzemeltetését, karbantartását, előkészítését és javítását végző személyekre és eszközökre, illetve annak irányítására szolgáló utasításokra épülő összetett folyamat. Matematikai szempontból az üzemeltetés egy diszkrét állapotterű, utóhatásmentes sztochasztikus folyamat, így azt Markov-lánccal lehet matematikailag leírni. Az üzemeltetési rendszer sztochasztikus modelljének felállítása után a vizsgált folyamatot rendszerszemléletű megközelítéssel tudjuk elemezni. Monte-Carlo módszernek nevezzük a matematikai modellek megoldásának véletlen mennyiségek modellezését felhasználó numerikus eljárásait, és azok jellemzőinek statisztikus értékelését. Jelen tanulmány bemutatja egy eszközpark szükséges tartalékberendezés-számának, illetve javítási igényének megfelelő kockázattal, azaz üzemeltetési biztonsággal történő Monte-Carlo szimulációs becslési eljárását.

Kulcsszavak: üzemeltetés; Monte-Carlo Szimuláció; tartalék alkatrészek száma; meghibásodások száma

1. BEVEZETÉS

A műszaki gyakorlat egyik legfőbb területe a különböző technikai eszközök, rendszerek és létesítmények üzemeltetése, karbantartása. Az üzemeltetés tágabb értelemben a technikai eszközök használatának, különböző szintű kiszolgálásának és javításának teljes folyamata. Ez a valós, technikai folyamat matematikai szempontból sztochasztikus (véletlen) folyamatnak tekinthető.

Egy üzemeltetési folyamat irányításához, a megfelelő rendszerszintű üzemképesség fenn-tartásához – elvárt pontossággal, más szóval becslési kockázattal – tudnunk kell a szükséges tartalékberendezések számát.

A technikai rendszerek üzemeltetése esetén bizonytalan paraméterek lehetnek a meghibásodási, valamint javítási idők. Ezen időket általánosságban a meghibásodások közti átlagidővel (MTBF – Mean Time Between Failures), illetve az átlagos javítási idővel (MTTR – Mean Time to Repair), vagy az átlagos megfordulási idővel (MRTT – Mean Repair Turnaround Time) jellemeznek. Ha a meghibásodott berendezések javításához kapcsolódó egyéb, logisztikai (például a berendezése elszállítása a javító bázisra, majd visszaszállítása az üzemeltetési helyre) számottevő – a meghibásodások közti idővel összemérhető – időt vesz igénybe, a javításokat az üzemeltetők szempontjából az úgynevezett megfordulási időekkel célszerű jellemeznünk. A fenti átlagos paraméterek nem jellemzik azt a bizonytalanságot, melyet az egyes meghibásodási, javítási vagy megfordulási idők valószínűségi eloszlásaival tudunk leírni.

A technikai eszközök üzemeltetésének kérdéskörében kiterjedt irodalommal találkozhatunk. Ushakov [35] szerint a „rendelkezésre állás” (availability) az eszköz azon képessége, hogy képes ellátni feladatait, ha az szükséges, illetve a „javítás” (repair) az eszköz egy működőképes állapotának helyreállítását jelenti. Duer elméleti alapon megállapítja, hogy az üzemeltetési folyamatok analitikus, grafikus és leíró módon is modellezhetőek [12]. Pokorádi [30] cikkében a karbantartási

folyamatok és rendszerek gráfelméleti vizsgálatát, elemzését írja le. Rámutatott, hogy az üzemeltetési folyamat rendszerszemléletű megközelítésekor az súlyozott, irányított gráffal írható le.

Békési – Kavás és Szilvássy szerzőtársaival – több munkájában is részletesen elemezte a korszerű katonai repülőgépek karbantartási, javítási sajátosságait [1], [4], az üzemeltethetőség, valamint a különböző üzemeltetési stratégiák aktuális kérdésköreit [34], illetve a fentieket befolyásoló tényezőket [2]. Továbbá vizsgálta a megbízhatóság elmélet gyakorlati alkalmazási lehetőségeit a repülőtechnika üzemeltetésének jellemzésére [3][5][6].

Kavás harcászati repülőgépek üzemeltetési, karbantartási, javítási mutatójának elemzését végezte el [19]. Dadu [11] tanulmányában rendszerszemléletű megközelítéssel elemzi a katonai helikopterek üzemeltetése során alkalmazott úgynevezett kannibalizáció kérdéseit, amikor nem áll kellő számú tartalék alkatrész a karbantartók, javítók rendelkezésére. A kannibalizáció során üzemképes repülőtechnikából építenek ki ideiglenesen vagy véglegesen berendezéseket, alkatrészeket, azzal a céllal, hogy annak társát üzemképessé tudják tenni.

Pokorádi a Markov-mátrix alkalmazási lehetőségét mutatja be beállt, más megfogalmazásban stationer, üzemeltetési folyamat sztochasztikus matematikai modelljének felállítási és alkalmazási módszereit [29]. A leírt eljárás előnye a könnyű algoritmizálhatósága, mely a Szerző munkájának legfőbb célja volt.

Összességében megállapíthatjuk, hogy az üzemeltetési folyamat egy folytonos idejű, diszkrét állapotterű markovi- vagy fél-markovi folyamatként (azaz láncként) modellezhető és megfelelő statisztikai adatok birtokában elemezhető.

Úgynevezett beállt üzemeltetési, karbantartási folyamatokat stationer Markov folyamattal tudjuk matematikailag modellezni [32]. Beállt üzemeltetési folyamaton olyan folyamatot értünk, ahol a különféle állapotváltási – főleg a meghibásodási – valószínűségek időben nem (vagy csak elhanyagolható mértékben) változnak. Ilyen üzemeltetési folyamatot tapasztalhatunk a bejáratási és a kiöregedési szakaszok között, ha nem lép fel jelentős változás az üzemeltetési körülményekben.

Az üzemeltetési folyamatok valószínűségi modellezéséhez szükséges matematikai alapismertetek, többek közt, Bharucha-Reid [9], Karlin és Taylor [18], Wentzel és Ovcsarov [36], Ushakov [35], Guizani és szerzőtársai [15], valamint Pokorádi [31] könyveiben olvashatóak.

Morariu és Zaharia egy olyan számítási módszert mutatott be, mely a termékek megbízhatóságát Weibull-eloszlást felhasználva modellezi [25]. Az eljárás használatával javult az anyagi és emberi erőforrások tervezése és elosztása az elemzett rendszer esetén. Az általuk javasolt modell és az eredmények pontosságát szimulációs módszerrel ellenőrizték. Lin és Asplund Weibull károsodási modellt alkalmazott vasúti mozdonyok kerekei degradációjának modellezésére [22]. A Markov-láncon alapuló Monte-Carlo (Markov Chain Monte Carlo – MCMC) technikát használva vontak le valószínűségi következtetések a kopások várható mértékéről és költségeiről.

A Monte-Carlo módszer egy igen széles körben (az alaptudományoktól a bonyolult rendszerek kockázatanalízisén át a pénzügyi életig) alkalmazott eljárás, amely a vizsgált rendszer vagy folyamat bemenő jellemzői véletlen generálásán alapul. Egy technikai rendszer vagy folyamat – és így matematikai modelljének – bemenő jellemzői gyakran valamilyen valószínűségi eloszlásokkal jellemezhetőek. Ha ismerjük ezeket az eloszlásokat, a Monte-Carlo szimuláció véletlen mintavételezéssel végezhető el.

Monte-Carlo eljárásokon sztochasztikus szimulációs módszerek összességét értjük. A módszert alkalmazzák a modellezett események lehetséges kimeneteleinek és azok valószínűségeinek szimulációjára, amikor a rendszert gerjesztő vagy belső paraméterei bizonytalanok. A szimulációs módszer elméleti, matematikai alapjai Dagpuran [10], Kalos és Whitlock [17], Newmann és Barkema [26], valamint Rubinstein [33] könyveiből sajátítható el. Ispas és Lungu többdimenziós Monte Carlo módszert dolgozott ki és írt le a [16] publikációjukban.

A Monte-Carlo szimuláció alkalmazására az alábbi irodalmakban ismerhetünk meg példákat: Bera és Pokorádi [7] és [8] cikkeikben helikopterek zajhatásainak elemzésére alkalmazták. Fang és szerzőtársaival számítási módszert javasolt napkollektorok termikus teljesítményének értékelésére [13]. Kozelj és szerzőtársai az eltérő mintavételi cső érdekesség együtthatók hatását vizsgálták vízellátó rendszerek hidraulikus modelljén [21]. Gál és szerzőtársai tejelő szarvasmarha telep eredményeit elemezték az eljárással [14]. Madić és Radovanović optimalási feladat megoldására alkalmazott Monte-Carlo szimulációt [24]. Gáztartályok kockázatelemzését végezte el Yeelong szerzőtársaival dinamikus folyamatmodellezés és Monte-Carlo szimuláció kombinálásával [37]. Pokorádi és Molnár folyadék szállító rendszer parametrikus bizonytalanságát elemezte [28].

A tanulmány célja – a fentiekben ismertetett tudományos munkákra támaszkodva – a beállt üzemeltetési folyamatok stacioner Markov-modelljére épülő Monte-Carlo szimuláció alkalmazásával kidolgozott elemzési eljárásának bemutatása. A javasolt módszer alkalmas a megfelelő, vagy elvárt szintű üzemképesség fenntartásához szükséges tartalékberendezések, valamint a vizsgálati, tervezési időszak alatt várható javítások számának meghatározására, különböző mértékű becslési bizonytalanság, vagy másképpen fogalmazva üzemeltetési biztonság esetén.

A tanulmány az alábbi részekből áll: A 2. fejezet a dolgozat elméleti tudományos alapjait mutatja be. A 3. fejezet a vizsgált üzemeltetési rendszer matematikai modelljét írja le. A 4. fejezetben a rendszer Monte-Carlo szimulációs vizsgálatát, valamint a kapott eredmények szakmai kiértékelését találjuk meg. Végül az 5. fejezet összegzi a tanulmány elkészítésekor szerzett tapasztalatokat.

2. ELMÉLETI ALAPOK

A kitűzött kutatási cél elérése érdekében ismernünk kell az üzemeltetési folyamatok sztochasztikus modellezésének módszertanát, a modellalkotás során fellépő bizonytalanságok elméletét, valamint az alkalmazott Monte-Carlo szimulációval kapcsolatos elvi kérdéseket. Jelen fejezetben ezen elméleti alapokat foglaljuk össze, röviden.

2.1. Üzemeltetési folyamatok valószínűségi modellezése

Az üzemeltetés tágabb értelemben a technikai eszközök használatának, különböző szintű kiszolgálásának és javításának összetett folyamata, az üzemeltetés során az üzembentartók (az alkalmazó szervezeti egységek) használják (üzemben tartják), tárolják, az üzembentartás keretében kiszolgálják, karbantartják, javítják a technikai eszközöket [32]. Egy technikai eszköz üzemeltetése az eszközzel, vagy annak valamely rendszerével, berendezésével a gyártása és a kiselejtezése között történekk összessége [30]. Ez a valós, fizikai folyamat matematikai szempontból sztochasztikus folyamatnak tekinthető.

Egy $\eta(\tau)$ folyamatot sztochasztikusnak nevezzük, ha minden lehetséges τ időponthoz tartozik

egy $\eta(\tau)$ valószínűségi változó, és az időpontok minden véges $[\tau_1, \tau_2, \dots]$ halmaza esetében adott az $\eta(\tau_1), \eta(\tau_2), \dots$ valószínűségi változók együttes eloszlása [36]. A sztochasztikus folyamatokat általában aszerint osztályozzuk, hogy a különböző τ_1, τ_2, \dots időpontoknak megfelelő η_1, η_2, \dots valószínűségi változók között milyen jellegű a függőségi kapcsolat található. A fontosabb fajták a következők: Markov folyamat, Poisson folyamat, stacionárius folyamat, valamint Gauss folyamat. A következőkben mi csak a Markov folyamatokkal foglalkozunk.

Az olyan sztochasztikus folyamatot, amelynek jövőbeli alakulását a múltbeli alakulása csak a jelenlegi állapoton keresztül befolyásolja – más szóval, amely utóhatásmentes – Markov folyamatnak nevezzük. Azaz amikor az adott véletlen folyamat jövőbeni lefolyását csak a jelen állapot határozza meg. Ilyen például a lottósorsolásakor a második nyerő szám húzása, amikor a lehetséges második húzott számot csak az első szám befolyásolja, függetlenül a korábbi sorsolások eredményeitől. Ilyenkor mindegyik szám ugyanakkora valószínűséggel lehet a második, csak a már elsőnek kihúzott nem.

Az üzemeltetési folyamatok rendszerszemléletű vizsgálata esetén megállapítható, hogy az egyes, jól definiált állapotokból való távozások függetlenek az előzőkben történetektől. Ezen tulajdonság alapján a technikai eszközök üzemeltetési folyamata Markov folyamatnak tekinthető és így matematikailag Markov láncsal modellezhető [32].

Egy üzemeltetési rendszerről vagy valamely belső folyamatáról, illetve azok irányításának hatásosságáról bizonyos jellemzők ismeretében dönthetünk. Ilyen jellemző lehet például az egyégségi üzemidőre eső költség, vagy kiszolgálási munkaigény. Ezen jellemzők meghatározása az adott üzemeltetési folyamat rendszerszemléletű vizsgálatakor, annak folytonos idejű, diszkrét állapotterű markovi modelljeinek segítségével történhet.

Matematikailag felírva egy $\eta(\tau)$ valószínűségi folyamat Markov folyamat, ha minden

$$\tau_1 < \tau_2 < \dots < \tau_n < \tau_{n+1} \text{ és } X_1 < X_2 < \dots < X_n < X_{n+1}$$

valós számra teljesül a:

$$P(\eta(\tau_{n+1}) = X_{n+1} | \eta(\tau_1) = X_1; \dots; \eta(\tau_n) = X_n) = P(\eta(\tau_{n+1}) = X_{n+1} | \eta(\tau_n) = X_n) \quad (2.1)$$

feltételes valószínűségek egyenlősége [9].

Ha az $\eta(\tau)$ folyamat a vizsgált időintervallum bármely pillanatában felvehet valamilyen X értéket, akkor a adott folyamat folytonos, ha η csak kitüntetett időpontokban rendelkezhet értékkel, diszkrét idejű. Diszkrét állapotterűnek tekintjük azt a sztochasztikus folyamatot, ahol az η valószínűségi változó lehetséges értékei véges, vagy megszámlálhatóan végtelen elemű halmazt alkotnak.

Egy Markov folyamat az állapotokból való távozások eloszlásai és az átmenet valószínűségek megadásával egyértelműen jellemezhető. Ha az állapotokból való távozások eloszlásainak jellegei nem exponenciálisak – legalább egy eltér –, akkor az adott utóhatásmentes sztochasztikus folyamatot fél-markovinak nevezzük [9].

A véges vagy megszámlálhatóan végtelen – azaz diszkrét – állapotterű, utóhatásmentes sztochasztikus folyamat Markov láncot alkot. Ekkor a

$$P_{ij}^{n,n+1} = P(\eta(\tau_{n+1}) = X_j | \eta(\tau_n) = X_i) \quad (2.2)$$

feltételes valószínűséget átmeneti valószínűségnek nevezzük, amely annak a valószínűségét fejezi ki, hogy $\eta(\tau_{n+1}) = X_j$ feltéve, hogy $\eta(\tau_n) = X_i$ [36].

A fenti $P_{ij}^{n,n+1}$ jelölés azt is mutatja, hogy az átmeneti valószínűség nem csak az *i-edik* kezdeti és a *j-edik* végállapot, hanem a τ_n idő függvénye is. Ezt a valószínűséget – az egyszerűség érdekében – a továbbiakban a

$$P_{ij}^{n,n+1} = P_{ij}(t_n) = P_{ij}(t) \quad (2.3)$$

módon jelöljük.

Véges – N számú – állapot esetén a $P_{ij}(t_n)$ átmeneti valószínűségeket a

$$\mathbf{P}(t)_{N \times N} = [P_{ij}(t)] \quad (2.4)$$

mátrixba rendezhetjük, amit az $\eta(\tau)$ folyamat Markov-mátrixának vagy átmenet-valószínűség mátrixnak nevezünk [29].

Ha a fenti egy lépéses átmenet-valószínűségek függetlenek az időtől, akkor a leírt Markov folyamat stacionárius, Ebben az esetben felírható, hogy

$$P_{ij}^{n,n+1} = P_{ij} \quad (2.5)$$

illetve

$$\mathbf{P}(t)_{N \times N} = \mathbf{P}_{N \times N} = [P_{ij}] \quad (2.6)$$

mivel az független az n értékétől. Azaz P_{ij} annak a valószínűségét jelenti, hogy az $\eta(\tau)$ értéke X_i -ből X_j -be vált át egy Δt hosszú $(t_{n+1}; t_n)$ időintervallumban.

A további modellvizsgálatok érdekében célszerű átmenetnek tekintenünk azt az esetet is, amikor az η által felvett érték a kiválasztott Δt idő elteltével az időintervallum előtti X_i értékű marad. Ebben az esetben a Markov mátrix főátlójában lévő elemek meghatározása a

$$P_{ii} = 1 - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N P_{ji} \quad (2.7)$$

módon történik. Ekkor ugyanis a teljes eseménytérnek az tekinthető, hogy az η vagy valamely másik értéket vesz fel, vagy a kiindulási értéke marad.

A Markov mátrix felhasználásával az állapotokban való tartózkodás valószínűségének időbeni változása a

$$\mathbf{p}(t + \Delta t) = \mathbf{P}^T(t) \mathbf{p}(t) \quad (2.8)$$

egyenlettel írható le, ahol \mathbf{P}^T a \mathbf{P} Markov mátrix transzponált mátrixa.

Az üzemeltetési folyamat rendszerszemléletű vizsgálatokor feltételezzük, hogy az állapotok élesen elhatárolódnak egymástól és az átváltások gyakorlatilag zérus idő alatt mennek végbe.

Ekkor az állapotváltozások jellemzésére azok átmenet-valószínűségeit használjuk. A P_{ij} átmeneti valószínűség

$$\beta_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{ij}(\Delta t)}{\Delta t} . \quad (2.9)$$

határértékét az átmeneti valószínűség sűrűségének nevezzük.

Természetesen, a (2.9) egyenlettel meghatározott átmenet-valószínűség sűrűségek – a (2.6) egyenlettel analóg módon – egy

$$\mathbf{B}_{N \times N}(t) = [\beta_{ij}(t)] . \quad (2.10)$$

az átmenet-valószínűség sűrűségmátrixba rendezhetőek.

Az üzemeltetési folyamat egy másik jellemzője az i -edik állapotban való tartózkodások valószínűsége, relatív gyakorisága:

$$P(\Delta t) \cong \frac{n_i(\Delta t)}{\sum_{j=1}^N n_j(\Delta t)} , \quad (2.11)$$

ahol: $n_i(\Delta t)$ a Δt idő alatti i -edik állapotba való lépések száma.

Ezeket a valószínűségeket az állapotokban való tartózkodás valószínűségeket \mathbf{p} vektorába tudjuk rendezni.

Az üzemeltetés tárgyának üzemeltetési állapotokba való tartózkodását jellemezheti még az állapotokban eltöltött átlagidők \mathbf{t} vektora is.

Stacioner Markov folyamat esetén – felhasználva az \mathbf{E} egységmátrix tulajdonságát, felírható a

$$\mathbf{p}(t + \Delta t) = \mathbf{B}^T(t)\mathbf{p}(t) = \mathbf{E}\mathbf{p}(t) \quad (2.12)$$

egyenlet, amit át tudunk rendezni az alábbi alakra:

$$[\mathbf{B}^T - \mathbf{E}]\mathbf{p} = \mathbf{M}\mathbf{p} = \mathbf{0} . \quad (2.13)$$

A fenti lineáris egyenletrendszer esetén problémaként jelentkezik, hogy a numerikus algoritmusok könnyen az

$$\mathbf{p} = \mathbf{0}$$

triviális megoldás adják meg. Mivel célunk egy könnyen algoritmizálható eljárás kidolgozása, az N ismeretlenes (2.13) egyenletet $N+1$ ismeretlenesre alakítottuk át. A \mathbf{p} vektor $N+1$ -edik elemének azt a biztos eseményvalószínűségét tekintjük, amikor az üzemeltetés tárgya a fenti N állapot valamelyikében tartózkodik. Ekkor az $N+1$ -edik egyenlet a

$$p_{N+1} = \sum_{i=1}^N P_i \equiv 1 . \quad (2.14)$$

Valamint a (2.13) egyenlet mindegyik sorához adjunk hozzá az $N+1$ -edik (biztos) esemény valószínűségét. Így a megoldandó egyenletrendszer – kiegészítve a (2.14) egyenlettel – az alábbi

mátrixalakot veszi fel:

$$\begin{bmatrix} & & & 1 \\ & \mathbf{M} & & \vdots \\ & & & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_N \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (2.15)$$

Ez a lineáris egyenletrendszer bármely ismert numerikus módszerrel kapott eredménye a (2.13) egyenlet triviálistól eltérő megoldása lesz.

2.2. Modellbizonytalanságok

Egy matematikai modell felállításakor, illetve a kapott eredmények elemzésekor mindig számolnunk kell valamilyen jellegű, illetve mértékű bizonytalansággal. Ennek oka részben az, hogy ismereteink sosem teljesek a modellezett rendszerrel kapcsolatban.

A rendelkezésre álló információk bizonytalansága megakadályozhatja a helyes modell, valamint pontos adatok, felesleges információk nélküli meghatározását. Itt fontos felidézni M Csizmadia és Nándori szerzőpáros a [23] irodalomban leírt gondolatát: „Az a jó modell, amely a lehető legegyszerűbb, de a célnak megfelelő pontossággal közelíti a valóságot.” Másképpen megfogalmazva: Az, és csak az a modell tekinthető jónak, amely a vizsgálat szempontjából fontos paramétereket, összefüggéseket és a peremfeltételeket megfelelő pontossággal figyelembe veszi, egyben mindazon másodlagos jellemzőket elhanyagolja, amelyeket a kitzűött vizsgálat szempontjából nem tekintünk meghatározónak.

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 megkülönböztetés 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 [31]. Ez indokolja a parametrikus bizonytalanság értelmezését úgy, mint sztochasztikus (aleatory – véletlenül múltó, 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 le. Ezek az okok magukba foglalhatják például az információk hiányát, mely megakadályozhatja 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 dolgozható fel. A rendszerváltozók értékeinek bizonytalanságát, ingadozását jellemezhetjük a

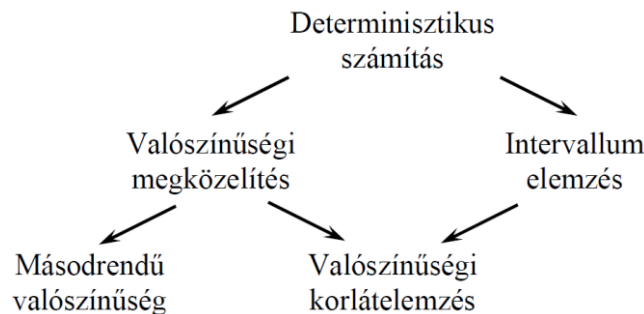
$$\mathbf{i}_{\eta}^T = [i_{\eta_1}; i_{\eta_2}; \dots; i_{\eta_n}] \quad (2.16)$$

intervallumvektorral, melynek elemei a rendszer jellemzői lehetséges értékeinek intervallumai, illetve az

$$\mathbf{d}_{\eta}^T = [d_{\eta_1}; d_{\eta_2}; \dots; d_{\eta_n}] \quad (2.17)$$

eloszlásvektorral, melynek elemei a rendszer jellemzőinek eloszlásfüggvényei.

A parametrikus bizonytalanság tudományos szintű elemzése alapvetően – úgynevezett elsőrendű – két eltérő módon oldható meg. Az 1. ábra a lehetséges elemzési módokat, benne a nyilak a módok fejlődését szemlélteti.



1. ábra Modellbizonytalanság elemzési módok [31]

A legegyszerűbb parametrikus bizonytalanságelemzési módszer a gerjesztések bizonytalansága következtében fellépő lehetséges rendszerválaszok meghatározása intervallum értékei határozza meg. Ezt a megközelítést nevezük intervallumelemzésnek. 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 csak a rendszerválaszok lehetséges jövőbeli értékeit, értékintervallumait határozzuk meg a

$$\mathbf{i}_y = f_i(\mathbf{i}_x) \quad (2.18)$$

összefüggés segítségével, ahol az f_i intervallum függvény a vizsgált rendszer működését leíró matematikai modell alapján határozható meg.

A másik elsőrendű bizonytalanságelemzési módszer a környezet gerjesztéseinek és a rendszer belső paramétereinek minden lehetséges eleméhez valamilyen valószínűségi eloszlást rendel. Ezt elemzési eljárást hívjuk valószínűségi megközelítésnek. Ekkor a rendszer kimenő jellemzőinek valószínűségi eloszlásai a

$$\mathbf{d}_y = f_d(\mathbf{d}_x) \quad (2.19)$$

valószínűségi függvénnyel adhatók meg, ahol az f_d szintén a vizsgált rendszer működését leíró matematikai modell alapján határozható meg. Az f_d valószínűségi függvény adott esetekben meghatározható közvetlen módszerekkel vagy a Monte-Carlo szimuláció alkalmazásával. 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.

Az elsőrendű bizonytalanságelemzési módszerek hiányossággal, bizonytalansággal is bírnak. Az intervallumelemzés csak arra mutat rá, hogy a rendszer válaszainak melyek lesznek a minimum és a maximum értékei. A valószínűségi elemzés esetén egyrészt – az alkalmazott függvények tulajdonságai miatt – a valóságtól elvben merőben eltérő eredményeket kaphatunk. Matematikai szempontból a normális (Gausz) valószínűségi eloszlást a $(-\infty; \infty)$ intervallumon kell értelmeznünk, ami – mérnöki szempontból – azt is jelentheti, hogy valamilyen valószínűséggel egy tengely átmérője negatív értékű is lehet. A valószínűségi megközelítésű bizonytalanságelemzés másik elvi hibája, hogy az alkalmazott függvények paraméterei (például: várható érték, szórás stb.) csak statisztikai elemzéssel határozható meg, mely újabb bizonytalanságot okoz(hat) az elemzésünk során. A fent említett hiányosságok kiküszöbölésére alkalmazhatunk úgynevezett másodrendű bizonytalanság-elemzési módszereket.

Használhatunk korlátozási megközelítést a valószínűségi számításokhoz is - a valószínűségi megközelítés első hiányosságának kiküszöbölésére. Ekkor a valószínűségi eloszlások intervallum típusát kapjuk. Ezt a technikát valószínűségi korlátelelemzésnek nevezzük [31]. Ha az adatok száma nem elegendő a statisztikai elemzésekhez, úgy 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 korlátelelemzéshez. Ekkor a

$$\begin{bmatrix} \mathbf{d}_y \\ \mathbf{i}_y \end{bmatrix} = f_{di} \left(\begin{bmatrix} \mathbf{d}_x \\ \mathbf{i}_x \end{bmatrix} \right) \quad (2.20)$$

összefüggés alapján határozhatjuk meg a lehetséges rendszerválaszok valószínűségi eloszlásait és értékintervallumait. Az f_{di} függvény a vizsgált rendszer működését leíró matematikai modell alapján határozható meg, például Monte-Carlo szimuláció alkalmazásával.

A másodrendű valószínűségi modellbizonytalanság során a modell változói valószínűségi

$$\mathbf{d}_{d\eta}^T = [d_{d\eta_1}; d_{d\eta_2}; \dots; d_{d\eta_m}] \quad (2.21)$$

függvényeinek valószínűségi függvényvektora alapján határozzuk meg a rendszer válaszparamétereinek lehetséges eloszlásfüggvényeit a

$$\mathbf{d}_y = f_{dd}(\mathbf{d}_{dx}) \quad (2.22)$$

összefüggés alapján, ahol az f_{di} függvény a vizsgált rendszer működését leíró matematikai modell alapján határozható meg, úgynevezett kétlépcsős Monte-Carlo szimuláció alkalmazásával.

2.3. A Monte-Carlo szimuláció

A Monte-Carlo szimulációt különböző fizikai, műszaki és társadalmi események lehetséges kimeneteleinek leírására és azok valószínűségeinek meghatározására alkalmazzák, akkor, amikor a rendszert gerjesztő paraméterek bizonytalanok. Lényege az, hogy az egyes bizonytalan gerjesztésekhez rendelt valószínűség-eloszlás alapján véletlenszerűen választunk ki értékeket, amelyeket a szimulációs vizsgálat egy-egy kísérletében használunk fel [8].

Monte-Carlo-módszerek összefoglaló névvel illetünk számos eljárást, technikát, melyek közös jellemzője, hogy véletlenszám-sorozatok generálásán alapulnak. A módszerek népszerűségének oka rendkívül egyszerű: képesek vagyunk az analitikusan követhetetlen feladatok eredményeit tetszőleges közelítéssel meghatározni velük. A robbanásszerű elterjedéshez a matematikai alapok lefektetésén kívül szükség volt egy másik összetevőre, a véletlen értékeket generáló, a számításokat gyorsan elvégző számítógépekre.

A Monte-Carlo szimuláció egyik előnye, hogy nincs szükség a sokszor igen bonyolult analitikus módszerekkel történő modellmegoldásra, hanem „csupán” véletlen számok gyors és hatékony generálásával válaszolhatók meg a feltett kérdések. A mintavételezést sokszor elvégezve a kapott eredményeket meghatározhatjuk, valamint megbecsülhetjük a várható rendszerválaszok valószínűségi eloszlásait [27].

A bemenő jellemzők értékeit a tapasztalatok, vagy a mérési eredmények statisztikai kiértékeléseinek alapján generáljuk. A véletlenszám-generálás alapja gyakorlatilag az egyenletes eloszlás. A különböző ismert, gyakran használt eloszlásokból származó véletlen számok hatékony generálásának komoly irodalma van [20]. Jelen tanulmányban nem kívánunk részletesen foglalkozni ezen módszerekkel, csak az általunk használt eljárást mutatjuk be.

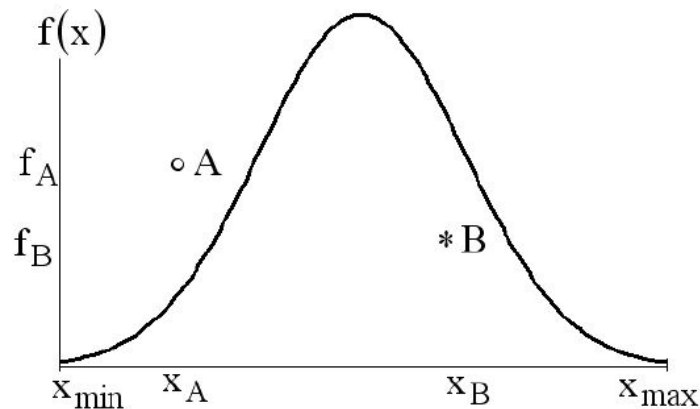
Az elfogadás-elutasítás (acceptance-rejection method) – más néven kiszorításos vagy dob-elvet – módszer alkalmazásához szükségünk van egy olyan eloszlásra, melyből könnyedén tudunk véletlen számokat generálni, ráadásul megfelelően „közel” van ahhoz az eloszláshoz, melyből generálni szeretnénk.

Ezt a módszert széles körben alkalmazzák különböző események lehetséges kimeneteleinek és azok valószínűségeinek szimulációjára, amikor a bemenő paraméterek bizonytalanok.

A kiszorításos eljárás lényege a következő: 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 valószínűségsűrűség függvény alapján döntünk a generált x számról:

- ha $y_x > f(x)$, „elvetjük” az adott x értéket (lásd az A pontot a 2. ábrán);
- ha $y_x < f(x)$, „megtartjuk” és a szimuláció során, mint input érték alkalmazzuk az adott x értéket (lásd a B pontot az 2. ábrán).

A modellt a fenti módon kiválasztott kiinduló adatokkal lefuttatjuk, majd a mintavételezést kellően sokszor elvégezve a kapott eredményeket – a vizsgálati cél alapján –, például statisztikailag kiértékeljük. Meghatározhatjuk a várható rendszerválaszok valószínűségi eloszlásait, vagy azok lehetséges minimum, illetve maximum értékeit.

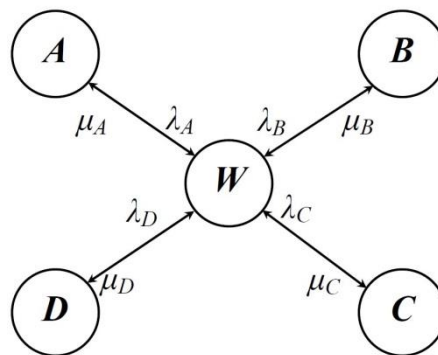


2. ábra Kiszorításos véletlen szám generálás szemléltetése

A Monte-Carlo szimuláció nagy hátránya, hogy a pontos elemzés elvégzéséhez, a statisztikai sokaság elérése érdekében sokszor kell lefuttatni a szimulációt [7].

3. A VIZSGÁLT ÜZEMELTETÉSI FOLYAMAT MODELLJE ESETTANULMÁNY

Egy nagyméretű hálózati rendszeren belül tömegesen alkalmazott berendezés üzemeltetése során négy (**A**; **B**; **C**; **D**) eltérő típusú – egy-egy részegységéhez kötődő – meghibásodást tapasztaltak. A berendezés javításának sajátossága, hogy a **C** típusú meghibásodás kivételével jelentős méretű – mintegy 45 napos – logisztikai időigényt is jelent.



2. ábra A folyamat gráf modellje

W – rendelkezésre állás; 1 – A típusú meghibásodás javítása;
2 – B típusú meghibásodás javítása; 3 – C típusú meghibásodás javítása;
4 – D típusú meghibásodás javítása

Mivel vizsgálatunkat alapvetően a végfelhasználó szempontjából végezzük, így a javításhoz kötődő oda-vissza történő szállítást is a javításokhoz kötjük. Így a javítás időigényét az úgynevezett átlagos megfordulási idővel jellemezzük. Továbbá az is megállapítható, hogy a meghibásodások esetén a berendezés helyszíni cseréjének ideje elhanyagolható a meghibásodások közti, illetve megfordulási időkhöz képest. Így ezen időigényektől a modellalkotás során eltekintünk.

A meghibásodások és a javításaik idejeinek az 1. táblázat tartalmazza. A folyamatot a 2. ábrán látható súlyozott élű, irányított gráffal szemléltetjük, ahol az élek súlyát az állapotváltási valószínűség sűrűségek (meghibásodási, illetve megfordulási ráták) adják meg.

Meghibásodás	A	B	C	D
Meghibásodások közti átlagidő <i>MTBF</i> [óra]	183627	162059	152800	179789
Meghibásodási ráta λ [óra ⁻¹]	5,446 10 ⁻⁶	6,171 10 ⁻⁶	6,545 10 ⁻⁶	5,562 10 ⁻⁶
Megfordulási átlagidő <i>MRTT</i> [óra]	1080,8	1081,1	167,13	1079,8
Megfordulási ráta μ [óra ⁻¹]	9,252 10 ⁻⁴	9,250 0 ⁻⁴	5,983 10 ⁻³	9,261 10 ⁻⁴

1. táblázat Statisztikai elemzés főbb (névleges) adatai

A folyamat Kolmogorov-féle differenciál-egyenletrendszere – mely az állapotokban való tartózkodás valószínűségeinek időbeni változását írja le – az alábbi módon adható meg:

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_W}{d\tau} &= -(\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D)P_W + \mu_A P_A + \mu_B P_B + \mu_C P_C + \mu_D P_D \\
 \frac{dP_A}{d\tau} &= \lambda_A P_W - \mu_A P_A \\
 \frac{dP_B}{d\tau} &= \lambda_B P_W - \mu_B P_B \\
 \frac{dP_C}{d\tau} &= \lambda_C P_W - \mu_C P_C \\
 \frac{dP_D}{d\tau} &= \lambda_D P_W - \mu_D P_D
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Mivel az általunk vizsgált folyamatot beálltnak, azaz időben változatlanoknak tekinthetjük, így az állapotokban való tartózkodási valószínűségek időszerinti deriváltjainak zérusnak kell lenniük, azaz:

$$\frac{dP_W}{d\tau} = \frac{dP_A}{d\tau} = \frac{dP_B}{d\tau} = \frac{dP_C}{d\tau} = \frac{dP_D}{d\tau} = 0 .
 \tag{3.2}$$

A megoldás további feltétele az is, hogy

$$\sum_{i=W}^D P_i(\tau) = 1 ,
 \tag{3.3}$$

amely azt fejezi ki, hogy az üzemeltetés tárgya csak a fenti öt állapot (melyek esetünkben a teljes eseményteret alkotják) valamelyikében tartózkodhat.

Az 1. táblázat (névleges) értékeinek felhasználásával a fenti, (3.4) egyenlet – azaz a vizsgált üzemeltetési folyamat modelljének – megoldási eredményeit tartalmazza a 2. táblázat.

Állapot	W	A	B	C	D
Állapotban tartózkodás valószínűsége P_i	9,8072 10 ⁻¹	5,7724 10 ⁻³	6,5424 10 ⁻³	1,0727 10 ⁻³	5,8901 10 ⁻³

2. táblázat A modell névleges futási eredményei

Ekkor az (3.1) – (3.3) egyenletek alapján a vizsgált állandósult üzemeltetési folyamat sztochasztikus modellje az alábbi – a 2.1 fejezetben részletesen levezetett – mátrixalakban írható fel:

$$\begin{bmatrix}
 -(\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D) & \mu_A & \mu_B & \mu_C & \mu_D & 1 \\
 \lambda_A & -\mu_A & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 \lambda_B & 0 & -\mu_B & 0 & 0 & 1 \\
 \lambda_C & 0 & 0 & -\mu_C & 0 & 1 \\
 \lambda_D & 0 & 0 & 0 & -\mu_D & 1 \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 P_W \\
 P_A \\
 P_B \\
 P_C \\
 P_D \\
 1
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 1 \\
 1 \\
 1 \\
 1 \\
 1 \\
 1
 \end{bmatrix}
 \tag{3.4}$$

4. SZIMULÁCIÓS ELEMZÉS ESETTANULMÁNY

A előző fejezetben modellezett üzemeltetési folyamat parametrikus bizonytalanságának Monte-Carlo szimulációs elemzését mutatjuk be a következőkben. Szimulációnk során a meghibásodási, illetve megfordulási idők bizonytalanságának, ingadozásának hatását határozzuk meg a különböző állapotokban való tartózkodások valószínűségeire. A kapott eredmények alapján üzemeltetés-elméleti, illetve gyakorlati következtetéseket vonunk le a karbantartás menedzsment döntésének támogatására.

4.1. A kiinduló adatok felvétele

A Monte-Carlo szimuláció elvégzéséhez a – viszonylag kevés – rendelkezésre álló meghibásodási és megfordulási adatok statisztikai feldolgozását végeztük el. Meghatároztuk a különböző meghibásodásokig eltelt, valamint a javítások által igényelt idők minimum és maximum értékeit, szórásukat, valamint átlagukat. Ezen utóbbi adatok az üzemeltetési folyamatok jellemzésére általánosan alkalmazott MTTF és MRTT paraméterek. A statisztikai elemzések adatait a 3. táblázat tartalmazza.

Meghibásodás	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Minták száma	23	24	25	21
Meghibásodások közti átlagidő MTTF [óra]	183663	162129	152848	179820
Min. meghibásodási idő [óra]	179709	159714	149470	173679
Max. meghibásodási idő [óra]	187468	167897	155381	183656
Meghibásodási idők szórása [óra]	2035	1873	1618	2247
Megfordulási átlagidő MTTR [óra]	1092,2	1081,8	161,86	1084,3
Min. megfordulási idő [óra]	1062	1036,7	117,16	1043
Max. megfordulási idő [óra]	1136,5	1142,9	196,94	1126,9
Megfordulási idők szórása [óra]	19,4	25,1	22,43	25,5

3. táblázat Mérési adatok statisztikai elemzésének eredményei

A rendelkezésre álló adatok viszonylag kis száma miatt a statisztikai illeszkedésvizsgálatról eltekintettünk, és az általános mérnöki gyakorlatnak megfelelően feltételeztük, hogy a mért jellemzők normál valószínűségi eloszlással bírnak.

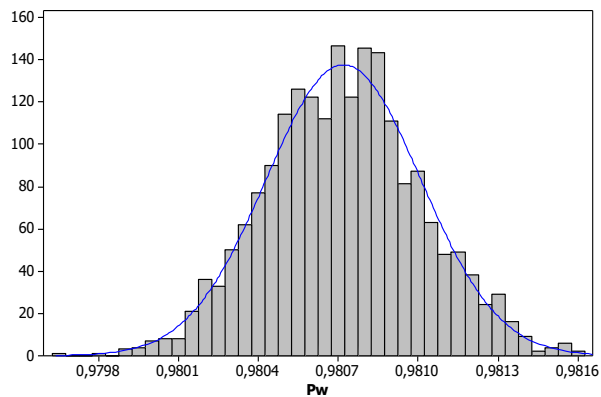
4.2. A szimuláció futtatása

A Monte-Carlo szimuláció során a 2.3. fejezetben ismertetett dob-elvet módszerrel választottunk ki a modell gerjesztésére alkalmazott meghibásodások közti, valamint megfordulási időket. A szimuláció kiindulási adatainak statisztikai jellemzőit a 4. táblázat tartalmazza.

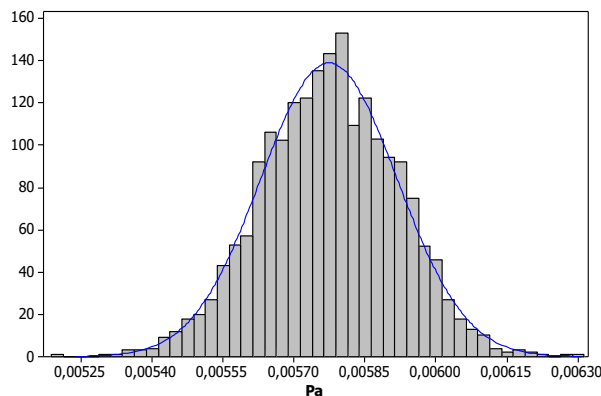
Meghibásodás	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Meghibásodások közti átlagidő MTTF [óra]	183627	162059	152800	179789
Min. meghibásodási idő [óra]	176800	156460	147786	172643
Max. meghibásodási idő [óra]	190305	168287	157968	186602
Meghibásodási idők szórása [óra]	2033	1881	1659	2198
Megfordulási átlagidő MTTR [óra]	1080,8	1081,1	167,13	1079,8
Min. megfordulási idő [óra]	964,2	990	73,1	994,5
Max. megfordulási idő [óra]	1161,2	1160,1	239,06	1164,6
Megfordulási idők szórása [óra]	23,9	23,7	23,16	24,3

4. táblázat Kiinduló szimulációs adatok statisztikai elemzésének eredményei

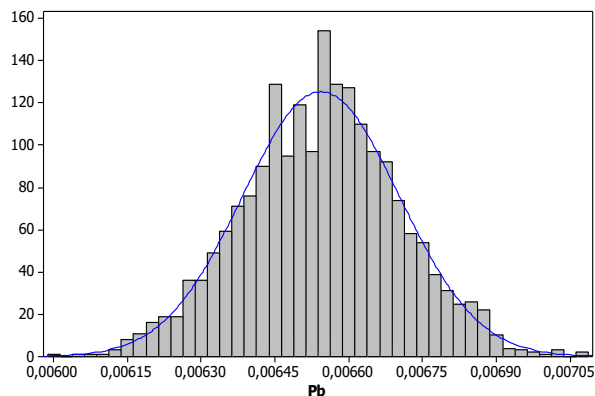
A gerjesztéseket alkalmazva futtattuk le a 3. fejezetben leírt sztochasztikus modellt, azaz oldottuk meg a (3.4) mátrixegyenletet. A korábbi Monte-Carlo szimulációknál szerzett tapasztalatok alapján határoztuk meg 2000-et a gerjesztések számának. Ez a gerjesztés szám már statisztikailag elegendő adatot szolgáltat, így korrekt szakmai következtetéseket vonhatunk le a kapott futtatási eredményekből. Az eredmények a 4–8. ábrákon, illetve az 5. táblázatban láthatóak. A 2.3. fejezetben leírtak alapján kijelenthető, hogy jelen vizsgálatunk során fellépő parametrikus rendszer-, és modellbizonytalanságot valószínűségi megközelítéssel írjuk le – lásd a (2.19) egyenletet.



4. ábra Az üzemképességi valószínűségek hisztogramja



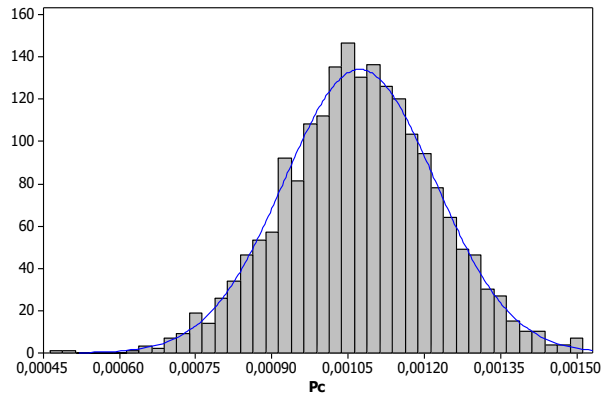
5. ábra Az *A* típusú meghibásodási valószínűségek hisztogramja



6. ábra *A B* típusú meghibásodási valószínűségek hisztogramja

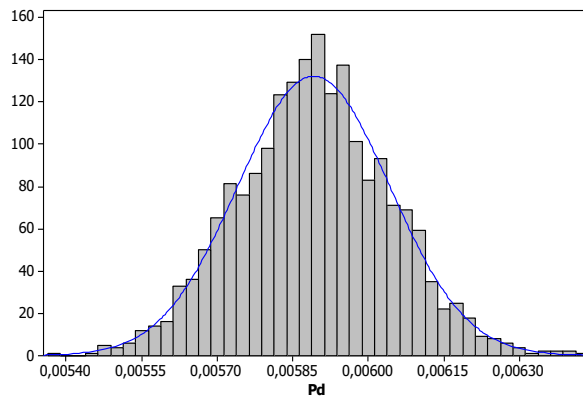
Állapot		<i>W</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Átlag	m_i	$9,81 \cdot 10^{-1}$	$5,77 \cdot 10^{-3}$	$6,54 \cdot 10^{-3}$	$1,07 \cdot 10^{-3}$	$5,89 \cdot 10^{-3}$
Minimum		$2,91 \cdot 10^{-4}$	$1,44 \cdot 10^{-4}$	$1,59 \cdot 10^{-4}$	$1,49 \cdot 10^{-4}$	$1,51 \cdot 10^{-4}$
Maximum		$9,80 \cdot 10^{-1}$	$5,19 \cdot 10^{-3}$	$6,00 \cdot 10^{-3}$	$4,70 \cdot 10^{-4}$	$5,39 \cdot 10^{-3}$
Szórás	s_i	$9,82 \cdot 10^{-1}$	$6,30 \cdot 10^{-3}$	$7,07 \cdot 10^{-3}$	$1,51 \cdot 10^{-3}$	$6,41 \cdot 10^{-3}$

5. táblázat Állapotokban való tartózkodási valószínűségek statisztikai elemzésének eredményei



7. ábra A C típusú meghibásodási valószínűségek hisztogramja

Az elvégzett normalitásvizsgálatok alapján kijelenthető, hogy mindegyik állapotban tartózkodási valószínűség jó közelítéssel normál (Gausz) eloszlással bírnak.



8. ábra A D típusú meghibásodási valószínűségek hisztogramja

4.3. A szükséges tartalékberendezések számának meghatározása

Vizsgálatunkat alapvetően az üzemeltető szempontjából végeztük el. Így számunkra a legfontosabb kérdés a tartalékberendezések szükséges számának ismerete. Az N_{RNS} szükséges tartalékberendezés szám meghatározását a berendezés P_W rendelkezésre-állási valószínűség ismeretében tudjuk elvégezni az alábbi egyenlet segítségével:

$$N_{RNS} = \left\lceil \left(\frac{1}{P_W} - 1 \right) N \right\rceil, \quad (4.1)$$

ahol: N_a rendszerben működő berendezések száma (vizsgálatunk során: $N = 5000$).

A 2. táblázatban található – névleges (várható) értékekhez tartozó – modelleredmény ($P_W = 0,98072$) alapján a szükséges tartalékberendezések számának várható értéke 5000 darab

működő berendezés esetén 96. Mivel ez a várható érték, annak valószínűsége, hogy ennél több berendezés hibásodik meg egy időben 0,5 (50%), ami az üzemeltetők számára elfogadhatatlan pontosságú becslés.

Becslési kockázat	Rendelkezésre-állási valószínűség	Szükséges tartalékberendezés szám
R	P_{RNS}	N_{RNS}
10%	0,9803	101
5%	0,9802	101
2%	0,9801	102
1%	0,9800	102
0,5%	0,9800	103
0,2%	0,9799	103
0,01%	0,9798	103

6. táblázat szükséges tartalékberendezés szám a becslési kockázat függvényében

Ezért az 5. táblázat adatai, azaz a szimulációs eredmények valószínűségi eloszlása, alapján meg kell határoznunk, mely P_{RNS} érték esetén lesz az üzemeltető által elfogadható R kockázati valószínűségnél kisebb a P_W rendelkezésre-állás bekövetkezési valószínűsége. Például, – a standard normál eloszlás alapján – 10%-os becslési kockázat (90% üzemeltetési biztonság) esetén:

$$P_{RNS} = m_W - 1,29s_W . \quad (4.2)$$

Ennek ismeretében határoztuk meg a különböző becslési kockázati értékekhez tartozó szükséges tartalékberendezés számot. Ezen eredményeket tartalmazza 6. Táblázat.

4.4. A meghibásodások számának meghatározása

A bekövetkező meghibásodások (javítási állapotban való tartózkodások) N_{Fi} száma az:

$$N_{Fi} = \left\lceil \frac{T \cdot P_i}{MRTT_i} N \right\rceil \quad (4.3)$$

egyenlettel adható meg, ahol T a vizsgálati idő hossza (esetünkben: 1 naptári év, azaz $365 \times 24 = 8760$ óra).

A meghibásodások számainak esetében is a szükséges tartalékberendezés szám meghatározásánál leírt problémával találkozunk. A névleges értékre kapott eredmények alapján a csak 50% megbízhatóságú várható értékeket kapjuk. Ezért, ekkor is meg kell keresnünk mely P_{iE} érték esetén lesz az üzemeltető által elfogadható R kockázati valószínűségnél nagyobb az i -edik meghibásodás bekövetkezési valószínűsége. Például, – a standard normál eloszlás alapján – 10%-os becslési kockázat esetén:

$$P_{iE} = m_i + 1,29s_i . \quad (4.4)$$

Ennek ismeretében határozhatjuk meg a különböző becslési kockázati értékekhez tartozó szükséges tartalékberendezés számot. Ezen eredményeket tartalmazza a 7. táblázat.

<i>i</i>	<i>Névleges</i>		<i>R = 10%</i>		<i>R = 5%</i>		<i>R = 2%</i>	
	<i>P_i</i>	<i>N_{Fi}</i>	<i>P_{iE}</i>	<i>N_{Fi}</i>	<i>P_{iE}</i>	<i>N_{Fi}</i>	<i>P_{iE}</i>	<i>N_{Fi}</i>
A	5,7724 10 ⁻³	234	5,959 10 ⁻³	241	6,011 10 ⁻³	243	6,070 10 ⁻³	246
B	6,5424 10 ⁻³	265	6,748 10 ⁻³	273	6,805 10 ⁻³	275	6,871 10 ⁻³	278
C	1,0727 10 ⁻³	279	1,265 10 ⁻³	329	1,319 10 ⁻³	343	1,380 10 ⁻³	359
D	5,8901 10 ⁻³	238	6,086 10 ⁻³	246	6,140 10 ⁻³	249	6,202 10 ⁻³	251
	<i>R = 1%</i>		<i>R = 0,50%</i>		<i>R = 0,20%</i>		<i>R = 0,01%</i>	
	<i>P_{iE}</i>	<i>N_{Fi}</i>	<i>P_{iE}</i>	<i>N_{Fi}</i>	<i>P_{iE}</i>	<i>N_{Fi}</i>	<i>P_{iE}</i>	<i>N_{Fi}</i>
A	6,110 10 ⁻³	247	6,145 10 ⁻³	249	6,188 10 ⁻³	250	6,219 10 ⁻³	252
B	6,915 10 ⁻³	280	6,953 10 ⁻³	281	7,001 10 ⁻³	283	7,036 10 ⁻³	285
C	1,422 10 ⁻³	370	1,457 10 ⁻³	379	1,502 10 ⁻³	391	1,535 10 ⁻³	400
D	6,244 10 ⁻³	253	6,281 10 ⁻³	254	6,326 10 ⁻³	256	6,359 10 ⁻³	257

7. táblázat A meghibásodások száma a becslési kockázat függvényében

A táblázat eredményei alapján megfelelő megbízhatósággal (becslési kockázattal) tervezhető a vizsgált eszközpark adott – esetünkben 1 éves – időszakra vonatkoztatott javítási költsége, adott esetben munka-, anyagigénye, illetve logisztikai, szállítási költsége.

A 6. és 7. táblázatok eredményeinek összehasonlításakor könnyen észrevehető, hogy a várható meghibásodások száma jóval nagyobb, mint a szükséges tartalékberendezések száma. Ez elsőre ellentmondásosnak tűnhet. Viszont azt is figyelembe kell vennünk, hogy a meghibásodási értékek egy adott hosszúságú – esetünkben 1 éves – időintervallumra vonatkoznak, még a szükséges tartalékok száma független a vizsgálati idő hosszától. Ne feledjük el, hogy a megjavított berendezések visszakerülnek az üzemeltetőhöz, ahol – vélhetőleg – először tartalékok lesznek, majd felváltják a később meghibásodott berendezéseket.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány bemutatta a beállt üzemeltetési folyamatok Markov-mátrixszal történő stacioner sztochasztikus modellje felállításának egy jól-algoritmizálható eljárását, valamint az erre épülő Monte-Carlo szimulációs elemzésének egy új módszerét. Az esettanulmány során kapott eredmények alapján kijelenthető, hogy kidolgozott elemzési eljárás alkalmas a karbantartási rendszer hatékonyságának biztosításához, növeléséhez szükséges döntések támogatására. A szimulációs eredmények felhasználhatóak:

- egy technikai rendszer üzemeltetéséhez szükséges tartalékberendezések;
- a vizsgálati, tervezési időszak alatt fellépő javítások

számának – megfelelő becslési kockázattal, azaz üzemeltetési megbízhatósággal történő – meghatározására.

A szerző célja az üzemeltetési, karbantartási menedzsment döntéshozatalát támogató további matematikai modellezésen, matematikai szimuláción alapuló folyamat-, és rendszerelemzési eljárások kidolgozása, valamint – esettanulmányok felhasználásával – gyakorlati alkalmazási lehetőségeinek bemutatása.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BÉKÉSI BERTOLD, KAVAS LÁSZLÓ: A korszerű repülőgép szerkezetének karbantartási, javítási sajátosságai. Műszaki Tudomány az Észak-Alföldi régióban, Nyíregyháza, 2010, pp. 29-34.
- [2] BÉKÉSI BERTOLD: Az üzembentartás szintjei, szervezeti elemei és a tevékenységet befolyásoló tényezők, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2006/1, pp. 151-172.
- [3] BÉKÉSI BERTOLD: A megbízhatóság leggyakrabban használt mérőszámai. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2007/2. online. 8 p.
- [4] BÉKÉSI BERTOLD: A katonai repülőgépek üzemeltetésének, a kiszolgálás korszerűsítésének kérdései, Doktori (PhD) értekezés, Budapest, 2006.
- [5] BÉKÉSI BERTOLD: A megbízhatóság főbb mennyiségi mutatói. Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények 2006/2 pp. 124-133.
- [6] BÉKÉSI BERTOLD: A megbízhatósági elmélet és annak gyakorlati alkalmazása a meghibásodások valószínűségére. Repüléstudományi Közlemények 2001/1. pp. 133-144.
- [7] BERA JÓZSEF, POKORÁDI LÁSZLÓ: Monte-Carlo Simulation of Helicopter Noise, Acta Polytechnica Hungarica, Budapest, 2015/2, pp. 21-32.
- [8] BERA JÓZSEF, POKORÁDI LÁSZLÓ: Monte-Carlo Szimuláció alkalmazása a légi közlekedés környezeti hatásainak elemzésére, Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, IFFK 2014. Konferencia, Budapest (2014.08.25-2014.08.27), pp. 246-250. (e-dok.) url: <http://kitt.uni-obuda.hu/mmaws/2014/pages/program/papers/39.pdf> (2015.12.20)
- [9] BHARUCHA-REID A.T.: Elements of the Theory of Markov Processes and Their Applications, McGraw-Hill, New York, 1960.
- [10] DAGPUNAR, J.S.: Simulation and Monte Carlo: With applications in finance and MCMC, Chichester, John Wiley&Sons Ltd, 2007.
- [11] DODU, P.E.: Simplified F.M.E.C.A. on Puma helicopters, U.P.B. Sci. Bull., Series D, 2014/2, 2014, pp. 49-60.
- [12] DUER, STANISŁAW: Modelling of the operation process of repairable technical objects with the use information from an artificial neural network, Expert Systems with Applications, 2011/38, pp. 5867–5878.
- [13] FANG, J.B., WEI, J.J., DONG, X.V., WANG, Y.S.: Thermal Performance Simulation of a Solar Cavity Receiver under Windy Conditions, Solar Energy, 2011/1, pp. 126-138.
- [14] GÁL, T., NAGY, L., DÁVID, L., VASA, L., BALOGH, P.: Technology Planning System as a Decision Support Tool for Dairy Farms in Hungary, Acta Polytechnica Hungarica, 2013/8, pp.231-244.
- [15] GUIZANI, M., RAYES, A., KHAN, B., AL-FUQAHA, A.: Network Modeling and Simulation, A Practical Respective, Chichester, John Wiley&Sons Ltd, 2010.
- [16] ISPAS, C., LUNGU, I.B.: Project risk assessment regarding industrial robots implementation in production systems, U.P.B. Sci. Bull., Series D, 2010/2, pp. 97-106.
- [17] KALOS, M.H., WHITLOCK, P.A.: Monte Carlo Methods. Second Edition, Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.
- [18] KARLIN S., TAYLOR H.M.: Sztochasztikus folyamatok, Gondolat, Budapest, 1985.
- [19] KAVAS LÁSZLÓ: Harcászati repülőgépek néhány üzemeltetési mutatójának elemzése, XVII. Magyar Repüléstudományi Napok, 2011. 14 p.
- [20] KEHL DÁNIEL.: Monte-Carlo-módszerek a statisztikában, Statisztikai Szemle, 2012/ 6. pp. 522 – 543.
- [21] KOZELJ, D., KAPELAN, Z., NOVAK, G., STEINMAN, F.: Investigating Prior Parameter Distributions in the Inverse Modelling of Water Distribution Hydraulic Models, Strojništvnik– Journal of Mechanical Engineering, 2014/11, pp. 725-734.
- [22] LIN, J., ASPLUND, M.: Comparison Study of Heavy Haul Locomotive Wheels' Running Surfaces Wearing, in Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, 2014/2, pp. 276-287.
- [23] M. CSIZMADIA BÉLA, NÁNDORI ERNŐ: Modellalkotás, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2003.
- [24] MADIĆ, M., RADOVANOVIĆ, M.: Possibilities of using the Monte Carlo method for solving machining optimization problems, Facta. Univ. Ser. Mech. Eng., 2014/1, pp. 27-36.
- [25] MORARIU, C.O., ZAHARIA, S.M.: A New Method for Determining the Reliability Testing Period Using Weibull Distribution, Acta Polytechnica Hungarica, 2013/7, pp. 171-186.
- [26] NEWMAN, M.E.J., BARKEMA, G.T.: Monte-Carlo Methods in Statistical Physics, New York, Oxford University Press Inc., 1999.
- [27] PENGFEI, W., ZHENZHOU, L., XIUKAI, Y.: Monte Carlo simulation for moment-independent sensitivity analysis, in Reliability Engineering and System Safety, 2013/110, pp.60-67.

- [28] POKORÁDI LÁSZLÓ, MOLNÁR BOGLÁRKA: Monte-Carlo simulation of the pipeline system to investigate water temperature's effects, POLYTECHNICAL UNIVERSITY OF BUCHAREST. SCIENTIFIC BULLETIN. SERIES D: MECHANICAL ENGINEERING, 2011/4, pp. 223-236.
- [29] POKORÁDI LÁSZLÓ: Availability Assessment Based on Stochastic Maintenance Process Modeling”, Debreceni Műszaki Közlemények 2013/1, pp 37-46. (e-dok.) url: http://www.eng.unideb.hu/userdir/dmk/docs/20131/13_1_04.pdf (2015.12.20)
- [30] POKORÁDI LÁSZLÓ: Üzemeltetési folyamat gráfmodellezése, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2014/2, pp. pp. 224-231.
- [31] POKORÁDI LÁSZLÓ: Rendszerek és folyamatok modellezése, Campus Kiadó, Debrecen, 2008.
- [32] ROHÁCS JÓZSEF, SIMON ISTVÁN: Repülőgépek üzemeltetési zsebkönyve. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1989.
- [33] RUBINSTEIN, R.Y.: Simulation and the Monte-Carlo Method, New York, John Wiley&Sons; 1981.
- [34] SZILVÁSSY LÁSZLÓ, BÉKÉSI BERTOLD: Üzemeltethetőség, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2001/2, pp. 115-122.
- [35] USHAKOV I.A.: Handbook of Reliability Engineering, John Wiley&Sons Inc., New York, 1994.
- [36] WENTZEL E., OVCHAROV L.: Applied Problems in Probability Theory, Mir Publisher, Moscow, 1986.
- [37] YEELYONG, N., KWANGPIL, CH., YUTAOK, S., DAEJUN, CH.: Risk-based determination of design pressure of LNG fuel storage tanks based on dynamic process simulation combined with Monte Carlo method, Reliability Engineering and System Safety, 2014/129, pp. 76-82.

Maintenance Process Analysis with Monte-Carlo Simulation

Nowadays, the maintenance is one of the most important territories of practical engineering. From the mathematical point of view, the operation of technical systems and equipment is a discrete state space stochastic process without after-effects, so it can be approximated with a Markov-chain. After setting up the transition probability matrix, matrix-algebraic tools can be used for investigating these processes with systems approach analysis. This paper is aimed to discuss the possibilities of the use of Markov matrix-based Monte-Carlo Simulation of maintenance processes. The proposed simulation method can be used for the assessment of requested number for spare part, availability, maintenance cost of a technical system operation depending on required estimating uncertainty

Keywords: *Maintenance; Monte-Carlo Simulation; Number for Spare Part; Numbers of Failures*

Dr. POKORÁDI László, CSc
egyetemi tanár
Óbudai Egyetem
pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu
orcid.org/0000-0003-2857-1887

POKORÁDI László, CSc
Professor
Óbuda University
pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu
orcid.org/0000-0003-2857-1887



<http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2016.pdf>

Szabolcsi Róbert

MULTIROTOROS PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK REPÜLÉSDINAMIKAI MODELLJEI

A multirotoros pilóta nélküli légi járművek egy sajátos osztályt képeznek a forgószárnyas UAV-családon belül. A multirotoros UAV-k speciális repülési képességei kiemelt fontosságúak egyes repülési feladatok megoldása során. A függés, a függőleges manőverezési képesség, a helyben fordulás, az extrém alacsony repülési magasság és repülési sebesség olyan képesség-halmaz, ami pótolhatatlanná teszi a multirotoros légi járművet. Kevés szó esik azonban a repülésdinamikai jellemzőkről, az irányítási- és kormányzási lehetőségekről, a kormányerők és nyomatékok létrehozásának sajátos elveiről. A szerző célja, hogy átfogó képet adjon a multirotoros pilóta nélküli repülőgépek térbeli mozgásának matematikai modellezéséről, állapot-egyenleteket írjon fel az UAV hossz-, és oldalirányú mozgására, valamint gyakorlati példán keresztül ismertesse az UAV viselkedésének számítógéppel támogatott analízisét.

Kulcsszavak: UAV, multirotoros UAV, quadrotor, Euler-Lagrange egyenletek, UAV térbeli mozgásegyenletei.

BEVEZETÉS

A robotika, és a mechatronika legújabb tudományos eredményei alapján tervezett robotok alkalmazása egyre szélesebb körű: a légi-, a felszíni-, és a felszín alatti (kutató)robotok alkalmazására számos új alkalmazási terület is nyílik, amelyek, a teljesség igénye nélkül, az alábbiak [3][4][5][6][7][8][9][10][11][12]:

1. klímaváltozás kutatási, monitoring feladatok ellátása légi felderítés segítségével;
2. belvízvédelem, árvízvédelem területén légi felderítés;
3. adatgyűjtés kárfelméréshez;
4. természeti katasztrófák következményeinek felmérése;
5. ipari katasztrófák következményeinek felderítése: vegyi-, biológiai-, és radiológia légi felderítés;
6. városi légszennyezettség mérő felderítő alkalmazások;
7. felszíni felderítő feladatok ellátása;
8. veszélyes területek megközelítése, és adatgyűjtés;
9. biztonsági kérdések megoldása;
10. létfontosságú (kritikus) infrastruktúrák védelme.

A pilóta nélküli légi járművek egyik speciális osztálya a multirotoros (quad-rotor, hex-rotor, octo-rotor) normál, vagy koaxiális rotorlapát elrendezéssel kialakított UAV-k. A multirotoros repülőeszközök jól használhatóak a kis repülési sebességű (pl. függés), kis magasságú felderítő repülések esetén, mint például [5][6][7]:

1. ipari létesítmények (pl. gyárak, üzemek, közlekedési infrastruktúra stb.), veszélyes üzemek (pl. vegyi üzemek, erőművek, atomerőművek, kritikus infrastruktúra stb.) monitoring vizsgálata;
2. mezőgazdasági termőterületek, növényi kultúrák, erdők szennyezettségének és biológiai állapotának vizsgálata a precíziós mezőgazdaságban;

3. hálózatok (pl. villamos-energia hálózat, kőolaj-vezetékek, gázvezetékek, közlekedési (út-, vasút) hálózatok, telekommunikációs vezetékek stb.) állapotának vizsgálata;
4. vízügyi helyzet monitoring vizsgálata; árterek, gátak megfigyelése;
5. városi alkalmazások (stadionok megfigyelése, közlekedési forgalmi szituációk megfigyelés);
6. határőrizeti tevékenység felderítési támogatása.

A fenti felsorolás sem teljes, hiszen folyamatosan jelennek meg új igények, különféle új információk megszerzésére, új feladatok végrehajtására. Ily módon, a repülő fedélzeti szenzorok, és a fedélzeti elektronika is oly módon, folyamatosan újul meg, hogy képes legyen kielégíteni a felhasználói igényeket. A hobbi célú UAV-eszközök folyamatosan alakulnak át hordozó platformmá, és a legújabb elektronikai eszközök fedélzetre történő integrálásával új távlatok nyílnak a távérzékelésben, az adatfeldolgozásban, a cél(személy)azonosításban, illetve egyéb más területeken is. A multirotoros UAV alkalmazások során, sokszor ún. „D3”, azaz (Dirty-Dull-Dangerous) repüléseket kell végrehajtani. Mikor mondhatjuk egy repülési feladatra, hogy az „D3” tulajdonságokkal bír? A *Dirty* repülési feladat fogalmát még nem írták le egzakt módon a szakirodalmak, ezért az alábbiakban egy sajátos, általam javasolt definíciót adok közre [5][6][7].

Egy repülési feladat *Dirty*, ha

- fizikailag szennyezett területek felett hajtjuk végre (pl. ipari katasztrófák, atomerőművek, természeti katasztrófák, közlekedési balesetek, árvizek, belvizes területek);
- bizonyos érdekeket sértő, de ugyanakkor legális repülések során (pl. éjszakai felderítési feladat, városi alkalmazások; középületek (bevásárló központok, stadionok, pályaudvarok) monitoringja; közterületek monitoringja) adatgyűjtést végzünk;
- UAV-alkalmazások a szórakoztató-, szabadidős-, és szállodaipar területén: hosszú óceáni, vagy tengeri partszakaszokon eltévedt turisták, gyerekek megkeresése;
- katonai alkalmazások felderítési céllal (célazonosítás, célkövetés, tűzvezetés stb.);
- UAV-k harcászati alkalmazása (fedélzeti fegyverek alkalmazása) levegő-levegő, levegő-föld viszonylatban;
- személyek célzott likvidálása kamikazedrónokkal.

A fenti felsorolás a leggyakrabban előforduló, tipikus eseteket foglalja magába, természetesen, új elemek is megjelenhetnek az egyes sajátos repülési eljárásokban, módszerekben, a repülés megtervezésében és a repülési feladatok meghatározásában [5][6][7].

Egy multirotoros UAV repülési feladata *Dull*, ha [5][6][7]:

- a repülési idő hosszú;
- a kezelőszemélyzet számára unalmas, egyhangú, és gyakorlatilag rutinszerű, eseménytelen repüléseket kell végrehajtani.

Egy multirotoros UAV repülési feladata *Dangerous*, ha [5][6][7]:

- a repüléseket *Dirty* körülmények között (pl. természeti, vagy ipari katasztrófák, árvizek, belvizes területek) kell végrehajtani, ezért az UAV leszállása, esetleg kényszerleszállása olyan területeken történik, hogy elveszíthetjük a repülőeszközt, vagy olyan károsodásokat szenvedhet, amelyek rövidebb, vagy hosszabb időre, repülésre alkalmatlanná teszik az UAV-t;

- repülések bonyolult, tördelt domborzati viszonyok között (közép-, illetve magashegység), ahol a nem tervezett leszállások során károsodást szenvedhet az UAV, és az is előfordulhat, hogy nem találjuk meg a leszállás helyén;
- erdőtüzek, láptüzek, bozóttüzek monitoringja;
- katonai alkalmazások felderítési céllal (célazonosítás, célkövetés, tűzvezetés stb.), amikor számolni kell a légi jármű sérülésével, vagy az esetleges elvesztésével;
- UAV-k harcászati alkalmazása (fedélzeti fegyverek alkalmazása);
- személyek célzott likvidálása kamikazedrónokkal.

Számos repülési feladat végrehajtásakor, sajnos, számolnunk kell a repülőeszköz esetleges sérülésével, extrém esetben, a repülőgép elvesztésével, ezért a gyakorlatban sokszor olyan technológiákat, olyan eszközöket használnak, amelyek nem jelentenek túlzottan nagy anyagi veszteséget, egy UAV-ra számítva. Az ily módon tervezett olcsó légi járművek „EC_D3¹” jellemzővel bírnak: a repülések során akár el is veszíthetjük őket, esetleg, nem is törekszünk a sikeres leszállás végrehajtására az adott repülőgép típussal, mert nincsenek meg a leszállás feltételei (pl. hadszíntéri, éjszakai repülések magashegység körülményei között, rossz időjárási viszonyok mellett).

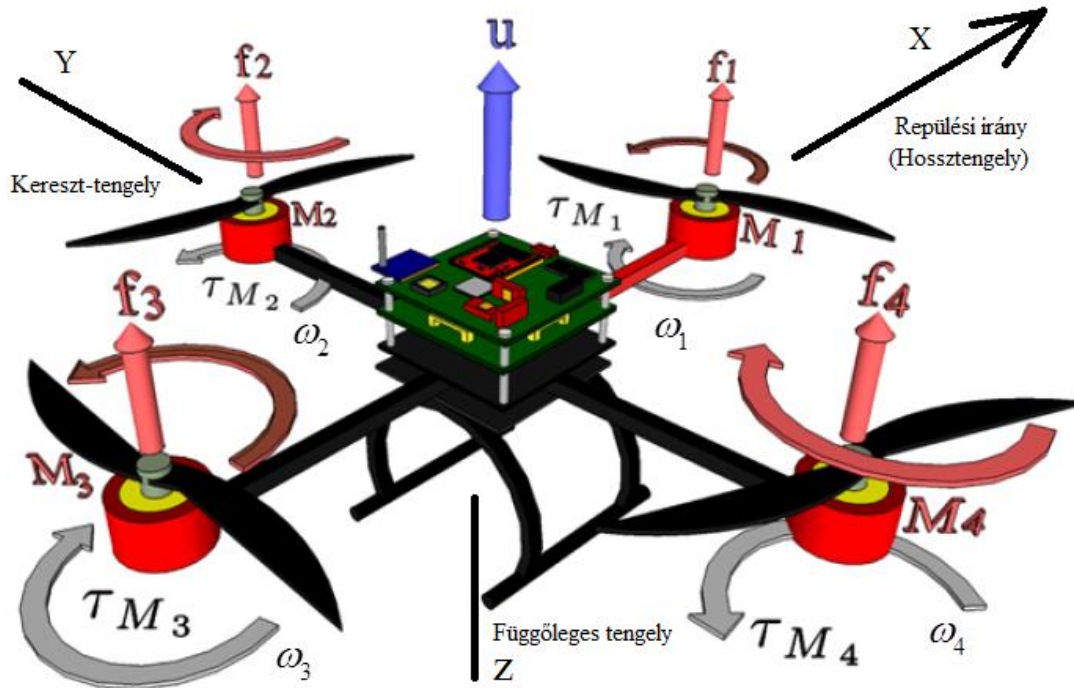
A QUADROTOROK SZERKEZETI SAJÁTOSSÁGAI, KORMÁNYERŐK ÉS NYOMATÉKOK LÉTREHOZÁSA

A multirotoros UAV, legyen az négyrotoros (quadro), hatrotoros (hexa), vagy nyolcrotoros (octo), esetleg bonyolultabb (pl. koaxiális) elrendezésű, a kormányerők és nyomatékok létrehozása azonos elvek szerint történik. Tekintettel eme tulajdonságra, a multirotoros UAV-k közül, törekedve az egyszerűsége, válasszuk a négyrotoros (quadrotor) UAV-kat.

A quadrotorok olyan négyrotoros, forgószárnyas UAV-k, amelyek térbeli irányításához szükséges kormányerők-, és nyomatékok létrehozása a vázszerkezeten elhelyezett négy, rendszerint villamos, BLDC-motoros erőforrás fordulatszámának változtatásával történik, a légsavarlapátok állandó beállítási szöge mellett [3][4][8][9]. A quadrotor elvi vázlata az 1. ábrán látható.

Az 1. ábrán látható quadrotor klasszikus kialakítású, ahol a tartószerkezet egymásra merőleges Ox , és Oy tartókból áll, melyek metszéspontja a légi jármű tömegközéppontja. Az 1. ábrán az alábbi jelöléseket alkalmaztuk: $M_i; i = 1..4$ – villamos motorok; $f_i = k\omega_i^2$ – az i -edik motor által működtetett légsavarlapát eredő felhajtó ereje; $\mathbf{f} = \mathbf{R}\mathbf{E}_z\mathbf{T}_f + \mathbf{f}_g$ – a szerkezeti paramétereiktől függő állandó; \mathbf{u} – az UAV eredő felhajtó ereje; $\omega_i; i = 1..4$ – a BLDC-motorok által működtetett légsavar-lapátok szögsebessége; $\tau_{M_i}; i = 1..4$ – az i -edik motor dinamikus gyorsító nyomatéka.

¹EC_D3: Extra-Cheap_Dirty-Dull-Dangerous



1. ábra A Quadrotor elvi felépítése. [12] alapján szerkesztette a szerző

Az UAV hossz tengelyén elhelyezkedő M_1 és az M_3 motorok ω_1 és ω_3 szögsebessége az óramutató járásával ellentétes irányú, míg a kereszt-tengelyen elhelyezkedő M_2 és az M_4 motorok ω_2 és ω_4 szögsebessége az óramutató járásával megegyező irányú. A továbbiakban tekintsük az UAV egyensúlyi repülési helyzetének az állandó magasságon végrehajtott függést, és vizsgáljuk, hogy az UAV ebből a helyzetből milyen módon, milyen kormányerők és nyomatékok segítségével vihető át egy másik egyensúlyi repülési helyzetbe.

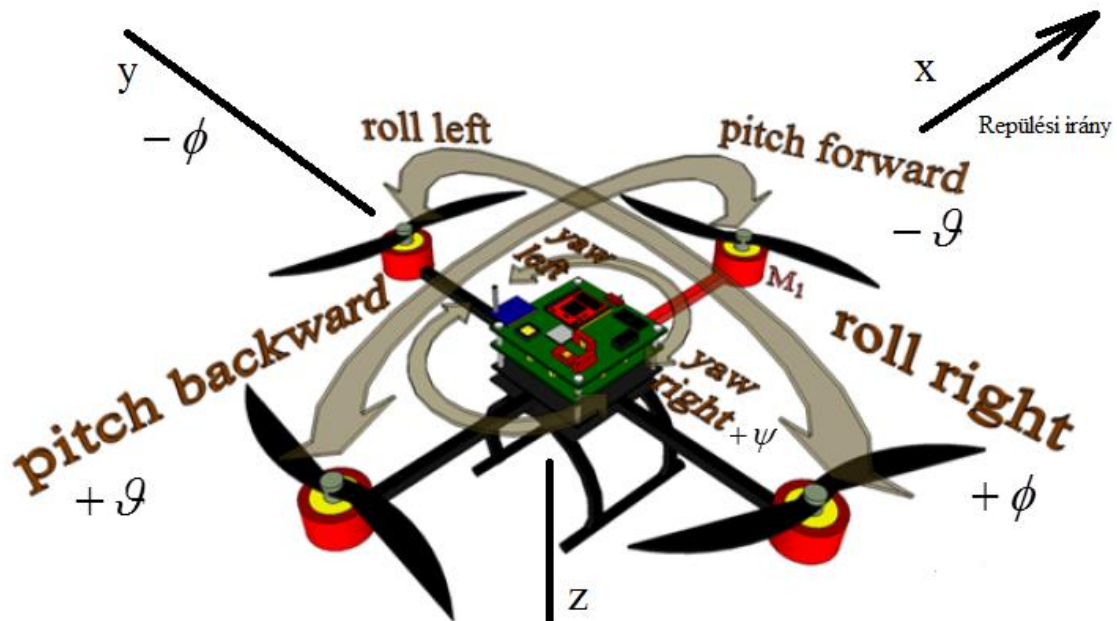
1. Az egyensúlyi repülési helyzetben, az UAV függése során teljesülnek az alábbi egyenletek:

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \text{áll.}; \quad f_1 = f_2 = f_3 = f_4 = \text{áll.}; \quad \mathbf{u} = \sum_{i=1}^4 \mathbf{f}_i = m\mathbf{g}; \quad v_x = 0, v_y = 0, v_z = 0;$$

$$H = \text{áll.}; \quad \tau_{M_1} + \tau_{M_3} = \tau_{M_2} + \tau_{M_4}; \quad p = 0, q = 0, r = 0; \quad \phi = 0, \vartheta = 0, \psi = \text{áll.}$$

Az UAV irányítása a ϑ bólintási szög szerint (2. ábra). Az Oy kereszt-tengely körüli forgást az alábbiak szerint hozzuk létre: az M_1 motor ω_1 szögsebességét csökkentjük, míg az M_3 motor ω_3 szögsebességét növeljük.

Az UAV \mathbf{u} eredő fejhajtóerő „előre”, a repülés irányában dől meg, az UAV Oxz szimmetriasíkjában. Az \mathbf{u} eredő felhajtóerő vektor u_z függőleges összetevője továbbra is a egyensúlyt tart a mg súlyerővel, vagyis $u_z = mg$, míg a hossz tengelyre eső u_x vetülete (vonóerő) egyenes vonalú mozgásba viszi az UAV-t. Mivel igaz, hogy $f_3 > f_1$, a $\Delta f = f_3 - f_1$ erő a kereszt-tengely körüli forgással negatív értékű bólintási szöget hoz létre: az UAV előre „bólint” és ezzel egyidejűleg egyenes vonalú mozgásba is kezd.



2. ábra A Quadrotor irányítása. [12] alapján szerkesztette a szerző

Az UAV mozgása a hossz tengely mentén történhet „hátrafelé” is. Ennek érdekében: az M_3 motor ω_3 szögsebességét csökkentjük, míg az M_1 motor ω_1 szögsebességét növeljük. Most az UAV u eredő fejhajtó ereje „hátrafelé”, a repülés irányával ellentétes irányban dől meg, az UAV Oxz szimmetria-síkjában. Az u felhajtóerő vektor u_z függőleges összetevője továbbra is egyensúlyt tart az mg súlyerővel, vagyis $u_z = mg$, míg a hossz tengelyre eső u_x vetülete (vonóerő) egyenes vonalú mozgásba viszi az UAV-t. Mivel $f_1 > f_3$, a $\Delta f = f_1 - f_3$ erő a kereszt-tengely körüli forgással pozitív értékű bólintási szöget hoz létre: az UAV megemeli az „orr-részt”, hátrafelé „bólint”, és egyenes vonalú mozgásba kezd a repülés eredeti irányával ellentétes irányban, a „farokrész” felé. Elmondhatjuk tehát, hogy a bólintási szög (egyenes vonalú repülési sebesség) megváltoztatása a hossz tengelyen elhelyezkedő motorok ellentétes irányú fordulatszám-változtatásával történhet.

2. Az UAV irányítása jobbra dőlés során (pozitív előjelű dőlési szög, 2. ábra). Az Ox hossz-tengely körüli orsózó mozgást (forgást) az alábbiak szerint hozzuk létre: az M_2 motor ω_2 szögsebességét növeljük, míg az M_4 motor ω_4 szögsebességét csökkentjük. Mivel igaz, hogy $f_2 > f_4$, a $\Delta f = f_2 - f_4$ erő a hossz tengely körüli forgással pozitív előjelű dőlési szöget hoz létre: az UAV jobb oldalára dől. Az UAV u eredő fejhajtó ereje is jobbra dől meg. Az u felhajtóerő vektor u_z függőleges összetevője továbbra is egyensúlyt tart az mg súlyerővel, vagyis $u_z = mg$, míg a kereszt-tengelyre eső u_x vetülete (vonóerő) egyenes vonalú mozgásba viszi az UAV-t a kereszt-tengely mentén. A baloldali dőlés irányítása (negatív előjelű dőlési szög) létrehozása hasonlóképpen történik: az M_4 motor ω_4 szögsebességét növeljük, míg az M_2 motor ω_2 szögsebességét csökkentjük. Mivel igaz, hogy $f_4 > f_2$, a $\Delta f = f_4 - f_2$ erő a hossz tengely körüli forgással negatív előjelű dőlési szöget hoz létre: az UAV bal oldalára dől. Az UAV u eredő fejhajtó ereje is balra dől meg. Az u felhajtóerő vektor u_z függőleges összetevője továbbra is

egyensúlyt tart az mg súlyerővel, vagyis $u_z = mg$, míg a kereszt-tengelyre eső u_x vetülete (vonóerő) egyenes vonalú mozgásba viszi az UAV-t a kereszt-tengely mentén. Összegezve a fent elhangzottakat, elmondhatjuk tehát, hogy a dőlési szög megváltoztatása a kereszt-tengelyen elhelyezkedő motorok ellentétes értelmű fordulatszám-változtatásával történhet.

3. Az UAV irányítása a függőleges tengely körül (pozitív előjelű irányszög változás létrehozása). Az UAV legyező mozgásának irányítása a következőképpen történik: az UAV hossz tengelyén elhelyezkedő M_1 és az M_3 motorok ω_1 és ω_3 szögsebességeit növeljük, míg az UAV kereszt-tengelyén elhelyezkedő M_2 és az M_4 motorok ω_2 és ω_4 szögsebességeit növeljük. Most igaz az alábbi egyenlőtlenség: $\tau_{M_1} + \tau_{M_3} > \tau_{M_2} + \tau_{M_4}$. Az UAV Oz függőleges tengelye körül tehát felbomlik a nyomatékok egyensúlya, ezért a $\Delta\tau = (\tau_{M_1} + \tau_{M_3}) - (\tau_{M_2} + \tau_{M_4})$ nyomaték-változás a függőleges tengely körül forgómozgásra (legyező mozgás) kényszeríti az UAV-t, megváltozik az UAV irányszöge. Elmondhatjuk tehát, hogy az irányszög megváltoztatása az UAV Ox hossz-tengelyén, illetve az Oy kereszt-tengelyén elhelyezkedő motorok azonos értelmű irányú fordulatszám-változtatásával történhet.

4. Az UAV irányítása a függőleges tengely mentén. Az UAV függőleges mozgását a négy motor forgási sebességének azonos értelmű megváltoztatásával érjük el. Ha az egyensúlyi repülési helyzetben (függés) az $M_i; i=1..4$ motorok $\omega_i; i=1..4$ szögsebessége (forgási sebessége) megváltozik, akkor a légsavarlapátok $f_i = k\omega_i^2$ eredő felhajtóereje is megváltozik, így az UAV $u = \sum_{i=1}^4 f_i = mg$ eredő felhajtóereje is megváltozik. Ha a felhajtóerő változás pozitív, vagyis $\Delta u > 0$, akkor az UAV emelkedik, és növekszik a valós repülési magasság. Ha a felhajtó erő-változás negatív, vagyis $\Delta u < 0$, akkor az UAV süllyed, és csökken a valós repülési magasság. Mindezek alapján könnyű belátni, hogy az UAV függőleges tengely mentén mért valós repülési magasságát a hossz tengelyen, és a kereszt-tengelyen elhelyezkedő motorok azonos értelmű irányú fordulatszám-változtatásával tudjuk megváltoztatni.

Az UAV i -edik motorja forgórészének dinamikus egyenlete az alábbi módon írható fel [5][6][7][12]:

$$J_{rot} \dot{\omega} = \tau_{M_i} - \tau_T, \quad (1)$$

ahol: J_{rot} a légsavarlapát tehetetlenségi nyomatéka, τ_T a légsavarlapát légellenállásból adódó terhelő nyomatéka, amely az alábbi egyenlettel adható meg:

$$\tau_T = \frac{1}{2} \rho A v^2, \quad (2)$$

ahol: ρ a levegő sűrűsége, A a légsavarlapátok felülete, és v a légsavarlapátok (rotorlapátok) levegőhöz viszonyított sebessége. Ismeretes, hogy körmozgások során

$$v = r\omega, \quad (3)$$

vagyis a (2) egyenlet az alábbi képlettel is megadható:

$$\tau_T = k_T \omega^2, \quad (4)$$

ahol: $k_T = \frac{1}{2} \rho A r^2$ - együttható.

Az állandó (vagy közel állandó) szögsebességgel végrehajtott manőverek során igaz, hogy

$$\tau_{M_i} = \tau_T. \quad (5)$$

QUADROTOROK TÉRBELI MOZGÁSÁNAK DINAMIKUS MODELLJE

Az UAV (quadrotor) térbeli mozgásegyenleteinek meghatározása során az UAV-t állandó tömegű, merev testnek tekintjük. Feltételezzük továbbá, hogy a térbeli mozgást az eredő felhajtóerő változás, illetve a bólintó-, a dőlési-, és legyező irányú nyomatékváltozások együttesen hozzák létre.

A merev Quadrotor Euler–Lagrange-féledinamikus modellje

A quadrotor, mint dinamikus rendszer térbeli mozgásának leírására vezessük be az alábbi általános koordinátát [1][2][12]:

$$\mathbf{q} = (x, y, z, \psi, \vartheta, \phi) \in \mathbb{R}^6, \quad (6)$$

ahol $\xi = (x, y, z) \in \mathbb{R}^3$ az UAV tömegközéppontja helyét (helyvektorát) adja meg a Földhöz rögzített J inercia-rendszerhez képest, míg az Euler-szögeket az $\eta = (\psi, \vartheta, \phi) \in \mathbb{R}^3$ vektor írja le (3. ábra). Legyen a dinamikus rendszer Lagrange-függvénye az alábbi alakú [12]:

$$\mathcal{L}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = T_e + T_f - U, \quad (7)$$

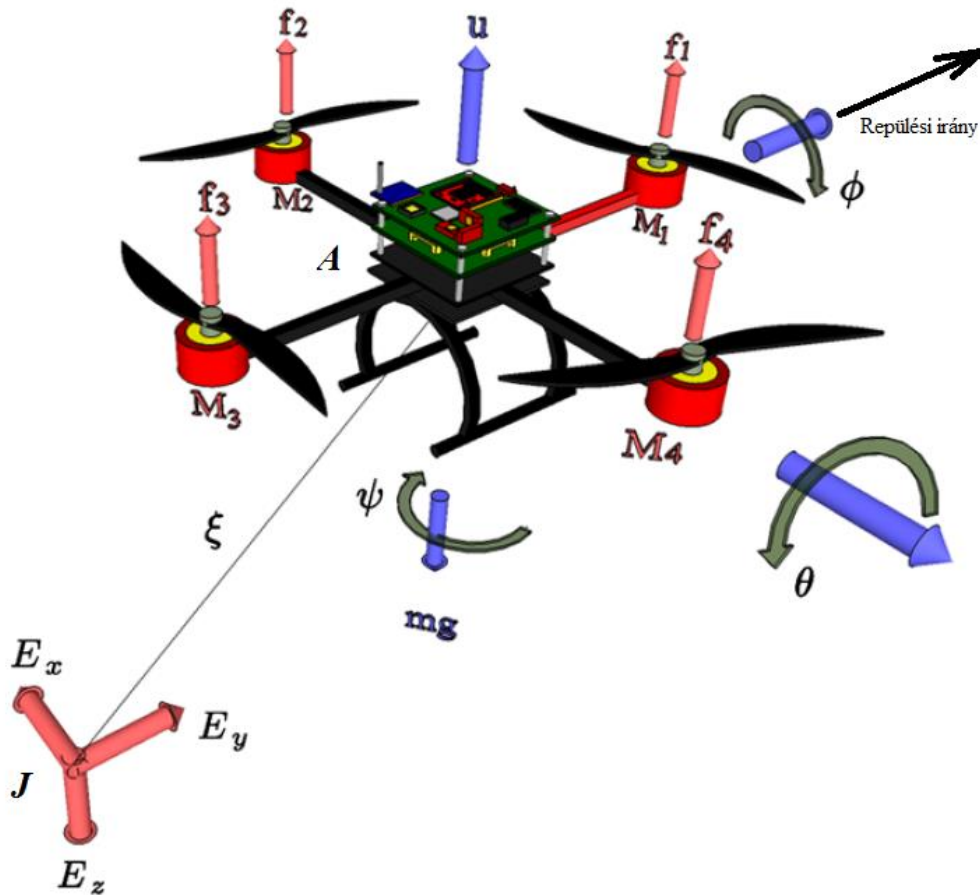
ahol: $T_e = \frac{1}{2} m \dot{\xi}^T \dot{\xi}$ – egyenes vonalú mozgás mozgási energiája; $T_f = \frac{1}{2} \mathbf{I} \boldsymbol{\Omega}^T \boldsymbol{\Omega}$ – a forgómozgás mozgási energiája; $U = mgz$ – potenciális energia, z – az UAV repülési magassága, m – az UAV állandó tömege; $\boldsymbol{\Omega}$ – az UAV szögsebessége az inercia-rendszerhez képest; \mathbf{I} – tehetetlenségi mátrix.

Az UAV test-koordináta-rendszerének $\dot{\eta} = (\dot{\psi}, \dot{\vartheta}, \dot{\phi}) \in \mathbb{R}^3$ szögsebesség-vektora, és az $\boldsymbol{\Omega}$ szögsebesség-vektor között az alábbi egyenlet teremt kapcsolatot:

$$\boldsymbol{\Omega} = \mathbf{W}_\eta \dot{\eta}, \quad (8)$$

ahol a forgatómátrix a következő egyenlettel adható meg:

$$\mathbf{W}_\eta = \begin{bmatrix} -\sin \vartheta & 0 & 1 \\ \cos \vartheta \sin \phi & \cos \vartheta & 0 \\ \cos \vartheta \cos \phi & -\sin \phi & 0 \end{bmatrix}, \quad (9)$$



3. ábra. A Quadrotor dinamikusan egyenletei. [12] alapján szerkesztette a szerző.

A (9) egyenlet figyelembe vételével a (8) egyenlet a következő alakban írható fel:

$$\mathbf{\Omega} = \begin{bmatrix} \dot{\phi} - \dot{\psi} \sin \phi \\ \dot{\vartheta} \cos \vartheta + \dot{\psi} \cos \vartheta \sin \phi \\ \dot{\psi} \cos \vartheta \cos \phi - \dot{\vartheta} \sin \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Omega_x \\ \Omega_y \\ \Omega_z \end{bmatrix} \quad (10)$$

Legyen

$$\mathfrak{T} = \mathfrak{T}(\boldsymbol{\eta}) = \mathbf{W}_\eta^T \mathbf{I} \mathbf{W}_\eta, \quad (11)$$

ahol az \mathbf{I} tehetetlenségi mátrix, szimmetrikus UAV felépítés esetén, és feltételezve, hogy az UAV tengelyei egyben főtehetetlenségi irányok is, az alábbi alakban írható fel [1][12]:

$$\mathbf{I} \cong \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Az UAV forgómozgásának kinetikai energiája az alábbi egyenlettel is megadható [12]:

$$T_f = \frac{1}{2} \dot{\boldsymbol{\eta}}^T \mathfrak{T} \dot{\boldsymbol{\eta}} \quad (13)$$

A (13) egyenletben az $\mathfrak{S} = \mathfrak{S}(\boldsymbol{\eta})$ mátrix a quadrotor teljes forgómozgásának kinetikai energiáját meghatározó tehetetlenségi mátrix.

A quadrotor teljes dinamikus modelljét az ún. másodfajú Euler-Lagrange egyenlettel írhatjuk le az általános erők segítségével [1][2][12]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{\mathbf{q}}} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mathbf{q}} = \begin{bmatrix} \mathbf{F}_\xi \\ \boldsymbol{\tau} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

ahol: $\mathbf{F}_\xi = \mathbf{R}\hat{\mathbf{F}}$ – az UAV eredő \mathbf{u} felhajtóerejének a test-koordináta rendszer tengelyeire eső komponenseiből (vetületeiből) képzett vektor; $\boldsymbol{\tau} \in \mathbb{R}^3$ – a legyező, a bólintó, és a dőlési nyomatékokból képzett vektor.

A dinamikus mozgás egyenleteinek felírásakor használt, és a Földhöz rögzített inercia-koordináta rendszer, valamint az UAV-hoz rögzített test-koordináta rendszer három, egymást követő forgatással (legyezés-bólintás-dőlés) egymásba kölcsönösen beforgathatóak. A forgatómátrix a három forgatási lépéssel az alábbi alakban írható fel [1][12]:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} c \mathcal{G} c \psi & c \psi s \mathcal{G} s \phi - c \phi s \psi & s \phi s \psi + c \phi c \psi s \mathcal{G} \\ c \mathcal{G} s \psi & c \phi c \psi - s \mathcal{G} s \phi s \psi & c \phi s \mathcal{G} s \psi - c \psi s \phi \\ -s \mathcal{G} & c \mathcal{G} s \phi & c \mathcal{G} c \phi \end{bmatrix}, \quad (15)$$

ahol: $c = \cos$, $s = \sin$.

Az 1. ábra alapján felírható az alábbi egyenlet:

$$\hat{\mathbf{F}} = [0 \quad 0 \quad \mathbf{u}]^T, \quad (16)$$

ahol az UAV eredő felhajtóereje az alábbi módon számítható:

$$\mathbf{u} = \sum_{i=1}^4 \mathbf{f}_i, \quad (17)$$

Korábban ismeretes, hogy az egyes rotorlapátok felhajtóereje $f_i = k\omega_i^2$ szerint változik. Az általános nyomaték-vektor tehát az alábbi egyenlettel számítható [12]:

$$\boldsymbol{\tau} = \begin{bmatrix} \tau_\psi \\ \tau_\vartheta \\ \tau_\phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^4 \tau_{M_i} \\ (f_3 - f_1)l \\ (f_2 - f_4)l \end{bmatrix}, \quad (18)$$

ahol l az UAV tömegközéppontja, és a motorok tengelyei között mért távolság (erőkar).

Mivel a Lagrange-függvény nem tartalmaz ξ és η deriváltakat is magába foglaló vegyes tagot, ezért a (14) másodfajú Euler-Lagrange egyenlet két önálló egyenletre partícionálható, amelyek a ξ és az η általános koordináták dinamikus egyenletei. Mindezek alapján, az egyenes vonalú mozgás Euler-Lagrange egyenlete az alábbi alakban írható fel [1][6]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}_e}{\partial \dot{\xi}} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}_e}{\partial \xi} = \mathbf{F}_\xi, \quad (19)$$

vagy egyszerűbb alakban:

$$m\ddot{\xi} + mg\mathbf{E}_z = \mathbf{F}_\xi, \quad (20)$$

ahol az \mathbf{E}_z a függőleges O_z -tengely egységvektora.

Az UAV forgó-mozgásának η általános koordinátáinak dinamikus egyenlete a következő Euler-Lagrange egyenlettel írható le [12]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}_f}{\partial \dot{\eta}} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}_f}{\partial \eta} = \tau, \quad (21)$$

vagy más alakban:

$$\frac{d}{dt} \left(\dot{\eta}^T \mathfrak{I} \frac{\partial \dot{\eta}}{\partial \eta} \right) - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\dot{\eta}^T \mathfrak{I} \dot{\eta} \right) = \tau. \quad (22)$$

A (22) egyenlet baloldalán elvégezve a differenciálást, kapjuk, hogy:

$$\mathfrak{I} \ddot{\eta} + \mathfrak{I} \dot{\eta} - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\dot{\eta}^T \mathfrak{I} \dot{\eta} \right) = \tau. \quad (23)$$

Legyen a Coriolis-vektor az alábbi alakú:

$$\bar{V}(\eta, \dot{\eta}) = \mathfrak{I} \dot{\eta} - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\dot{\eta}^T \mathfrak{I} \dot{\eta} \right), \quad (24)$$

melynek figyelembevételével a (22) egyenlet a következő módon írható fel:

$$\mathfrak{I} \ddot{\eta} + \bar{V}(\eta, \dot{\eta}) = \tau. \quad (25)$$

Ismeretes, hogy a Corioliscentripetál-vektor a következő alakra hozható:

$$\bar{V}(\eta, \dot{\eta}) = \left(\dot{\mathfrak{I}} - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\dot{\eta}^T \mathfrak{I} \right) \right) \dot{\eta} = \mathbf{C}(\eta, \dot{\eta}) \dot{\eta}, \quad (26)$$

ahol $\mathbf{C}(\eta, \dot{\eta})$ a Coriolis-vektor, amelyet a giroszkópikus erő és a centrifugális erő határoz meg az $\mathfrak{I} = \mathfrak{I}(\eta)$ függvényében.

Mindezek alapján, az UAV térbeli, dinamikus mozgásának másodfajú Euler-Lagrange egyenlete az alábbi két, önálló egyenletre partícionálható:

$$m\ddot{\xi} + mg\mathbf{E}_z = \mathbf{F}_\xi, \quad (27)$$

$$\mathfrak{I} \ddot{\eta} = \tau - \mathbf{C}(\eta, \dot{\eta}) \dot{\eta}, \quad (28)$$

Rendezve a (28) egyenletet, az alábbi egyenletet kapjuk:

$$\tilde{\boldsymbol{\tau}} = \begin{bmatrix} \tilde{\tau}_\psi \\ \tilde{\tau}_g \\ \tilde{\tau}_\phi \end{bmatrix} = \mathfrak{T}^{-1}[\boldsymbol{\tau} - \mathbf{C}(\boldsymbol{\eta}, \dot{\boldsymbol{\eta}})\dot{\boldsymbol{\eta}}] \quad (29)$$

Végezetül, az UAV egyenes vonalú, és a forgómozgására – a (27) és a (28) egyenletek felhasználva – az alábbi egyenleteket írhatjuk fel:

$$m\ddot{x} = u(\sin\phi \sin\psi + \cos\phi \cos\psi \sin\mathcal{G}), \quad (30)$$

$$m\ddot{y} = u(\cos\phi \sin\mathcal{G} \sin\psi - \cos\psi \sin\phi), \quad (31)$$

$$m\ddot{z} = u\cos\mathcal{G} \cos\phi - mg, \quad (32)$$

$$\ddot{\psi} = \tilde{\tau}_\psi, \quad (33)$$

$$\ddot{\mathcal{G}} = \tilde{\tau}_g, \quad (34)$$

$$\ddot{\phi} = \tilde{\tau}_\phi, \quad (35)$$

ahol x és y az UAV pozíciója a vízszintes síkban, z a repülési magasság, $\tilde{\tau}_\psi$ a legyező nyomaték, $\tilde{\tau}_g$ a bólintó nyomaték, és végül, $\tilde{\tau}_\phi$ a dőlési nyomaték.

A merev Quadrotor Newton–Euler-féle dinamikus modellje

A merev testek háromdimenziós mozgása a test egyenes vonalú, és a forgómozgásának együtteseként is értelmezhető. A quadrotor mozgását vizsgáljuk a Földhöz rögzített \mathbf{J} inercia-rendszerhez képest. A quadrotor test-koordináta rendszerét jelölje \mathbf{A} , tengelyeit jelölje rendre A_x (hossztengely), A_y (kereszt-tengely), és A_z (függőleges tengely) (4. ábra).

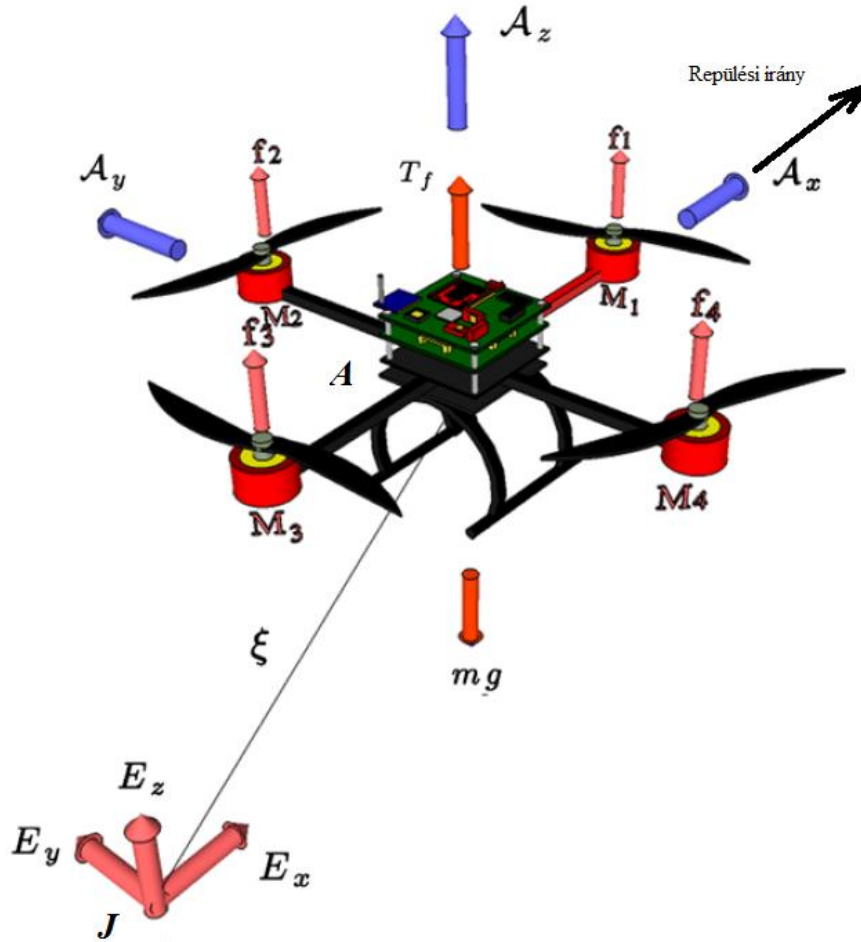
Feltételezzük, hogy az UAV tömegközéppontja, és a test-koordináta rendszer kezdőpontja egybeesnek. A korábban bemutatott \mathbf{R} forgatómátrix (15. egyenlet) segítségével az UAV \mathbf{A} test-koordináta rendszere három, egymást követő forgatással (legyezés-bólintás-dőlés) \mathbf{J} inercia-rendszerbe beforgatható.

A Newton-Euler módszert követve, a merev UAV térbeli mozgása a tömegközéppontjában ható külső erők eredőjének hatására, az inercia-rendszerhez képest, az alábbi egyenletrendszerrel írható le [12]:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\boldsymbol{\xi}} &= \mathbf{v} \\ m\dot{\mathbf{v}} &= \mathbf{f} \\ \dot{\mathbf{R}} &= \mathbf{R}\hat{\boldsymbol{\Omega}} \\ \mathbf{I}\dot{\boldsymbol{\Omega}} &= -\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{I}\boldsymbol{\Omega} + \boldsymbol{\tau} \end{aligned} \right\}, \quad (36)$$

ahol: $\boldsymbol{\xi} = [x, y, z]^T$ az UAV helyvektora az \mathbf{J} referencia koordináta-rendszerhez képest, \mathbf{v} a egyenes vonalú mozgás sebessége az inercia-rendszerben; $\boldsymbol{\Omega}$ az UAV \mathbf{A} test-koordináta-rendszerének forgási sebessége; m az UAV állandó tömege; \mathbf{I} az inercia (tehetetlenségi)mátrix; \mathbf{f} a testre

ható külső erők eredője az inercia-rendszerben, amely magába foglalja a \mathbf{T}_f eredő felhajtó-erőt, és a légcsavarlapátok terhelőerőit is; és végül, $\boldsymbol{\tau}$ az eredő nyomaték-vektor, amely magába foglalja az egyes tengelyeken elhelyezett motorok relatív nyomatékainak különbségét, valamint a giroszkópikus hatást is.



4. ábra A Quadrotor dinamikusan egyenletei. [12] alapján szerkesztette a szerző

Az UAV térbeli mozgását az eredő felhajtóerő, valamint a gravitációs erő határozzák meg:

$$\mathbf{T}_f = \sum_{i=1}^4 \mathbf{f}_i, \quad (37)$$

ahol $f_i = k\omega_i^2$ az egyes légcsavarlapátok felhajtóereje az Oz függőleges tengely mentén. A (37) egyenlet tehát az alábbi alakban is felírható:

$$\mathbf{T}_f = k \sum_{i=1}^4 \omega_i^2, \quad (38)$$

A quadrotorra ható külső (kényszer)erők eredője felírható a következő mátrixos alakban is:

$$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \mathbf{T}_f \end{bmatrix}. \quad (39)$$

Az UAV-ra ható súlyerőt az alábbi egyenlettel adhatjuk meg:

$$\mathbf{f}_g = -m\mathbf{g}\mathbf{E}_z. \quad (40)$$

A (39) és a (40) egyenleteket felhasználva, az UAV-ra ható eredő erő a következő lesz:

$$\mathbf{f} = \mathbf{R}\mathbf{E}_z\mathbf{T}_f + \mathbf{f}_g. \quad (41)$$

Az UAV dinamikájának vizsgálata során feltételezzük, hogy a légszárnylapát maga is merev test, amelynek forgási sebességét az ω_i általános koordinátát adja meg. Az UAV motorjainak elektrodinamikus gyorsító nyomatéka $\tau_{M_i}; i = 1 \dots 4$, míg a légellenállásból származó terhelő nyomaték $\tau_T = k_T\omega^2$. Mindezen megfontolások után, Newton II. törvénye szerint (perdület-tétel) az egyes motorok (légszárnylapátok) forgását leíró dinamikusan egyenlet most a következő lesz [1][12]:

$$J_{M_i}\dot{\omega} = \tau_{M_i} - \tau_T. \quad (42)$$

ahol: J_{M_i} az i -edik motor tehetetlenségi nyomatéka. Egyensúlyi állapotban, amikor $\dot{\omega} = 0$, a legyező nyomaték az alábbi kifejezéssel írható le:

$$\tau_{M_i} = k_\tau\omega^2, \quad k_\tau > 0. \quad (43)$$

Az általános nyomatékok most a következő egyenlettel adhatók meg:

$$\boldsymbol{\tau}_A = \begin{bmatrix} \tau_\psi \\ \tau_g \\ \tau_\phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^4 \tau_{M_i} \\ (f_3 - f_1)l \\ (f_2 - f_4)l \end{bmatrix}, \quad (44)$$

ahol l az UAV tömegközéppontja, és a motorok tengelyei között mért távolság (erőkar). A (44) egyenlet-rendszer a következő alakban is felírható [12]:

$$\tau_\psi = k_\tau(\omega_1^2 + \omega_3^2 - \omega_2^2 - \omega_4^2), \quad (45)$$

$$\tau_g = lk(\omega_3^2 - \omega_1^2), \quad (46)$$

$$\tau_\phi = lk(\omega_2^2 - \omega_4^2), \quad (47)$$

ahol τ_ψ , τ_g , τ_ϕ az általános nyomatékok (legyezés, bólintás, dőlés).

Az UAV légszárnylapátjait merevnek tekintjük, és az Oz függőleges tengely (\mathbf{E}_z) körül ω_i szögsebességgel forognak, de ezzel egyidejűleg, a teljes UAV is végez forgómozgást az inercia-koordináta rendszerhez képest és ez giroszkópikus nyomaték kialakulásához vezet, vagyis:

$$\boldsymbol{\tau}_{G_A} = -\sum_{i=1}^4 \mathbf{I}_M (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{E}_z) \omega_i = -(\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{E}_z) \sum_{i=1}^4 \mathbf{I}_M \omega_i \quad (48)$$

Az UAV-ra ható teljes nyomaték a következő egyenlettel adható meg:

$$\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\tau}_A + \boldsymbol{\tau}_{G_A} \quad (49)$$

A fenti egyenleteket is figyelembe véve, a (36) egyenlet az alábbi alakban adható meg:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\boldsymbol{\xi}} &= \mathbf{v} \\ m\dot{\mathbf{v}} &= \mathbf{R}_{E_z} \mathbf{T}_f - mg\mathbf{E}_z \\ \dot{\mathbf{R}} &= \mathbf{R}\hat{\boldsymbol{\Omega}} \\ \mathbf{I}\dot{\boldsymbol{\Omega}} &= -\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{I}\boldsymbol{\Omega} + \boldsymbol{\tau}_A + \boldsymbol{\tau}_{G_A} \end{aligned} \right\} \quad (50)$$

A Newton– és a Lagrange-egyenletek kapcsolata

Korábban ismeretes (lásd 15. egyenlet), hogy az UAV A test-koordináta rendszere az J -inercia rendszerbe három egymást követő forgatással (legyezés – bólintás – dőlés) beforgatható, ahol az egyes ψ , ϑ , és ϕ forgásszögek a repülésmechanikában jól ismert Euler-szögek:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} c \mathcal{D} \psi & c \psi s \mathcal{D} s \phi - c \phi s \psi & s \phi s \psi + c \phi c \psi s \mathcal{D} \\ c \mathcal{D} s \psi & c \phi c \psi - s \mathcal{D} s \phi s \psi & c \phi s \mathcal{D} s \psi - c \psi s \phi \\ -s \mathcal{D} & c \mathcal{D} s \phi & c \mathcal{D} c \phi \end{bmatrix}, \quad (51)$$

ahol: $c = \cos$, $s = \sin$.

Az (50) egyenletrendszer particionálható az UAV egyenes vonalú mozgásának jellemzőit megadó $\boldsymbol{\xi}$ vektor, és az UAV forgómozgásának állapotváltozóit leíró $\boldsymbol{\eta}$ vektor segítségével. Az (50) egyenletrendszer második egyenletét rendezve kapjuk, hogy:

$$\dot{\mathbf{v}} = \frac{1}{m} \mathbf{R}_{E_z} \mathbf{T}_f - g\mathbf{E}_z, \quad (52)$$

ahol az \mathbf{R}_{E_z} forgatómátrix most a következő alakot ölti:

$$\mathbf{R}_{E_z} = \begin{bmatrix} s \phi s \psi + c \phi c \psi s \mathcal{D} \\ c \phi s \mathcal{D} s \psi - c \psi s \phi \\ c \mathcal{D} c \phi \end{bmatrix},$$

ahol: $c = \cos$, $s = \sin$.

A 3. és a 4. ábrák alapján az eredő felhajtóerő $\mathbf{u} = \mathbf{T}_f$, így módon az UAV egyenes vonalú mozgásának komponens egyenletei az alábbiak lesznek:

$$\ddot{x} = \frac{1}{m} u (\sin \phi \sin \psi + \cos \phi \cos \psi \sin \vartheta), \quad (53)$$

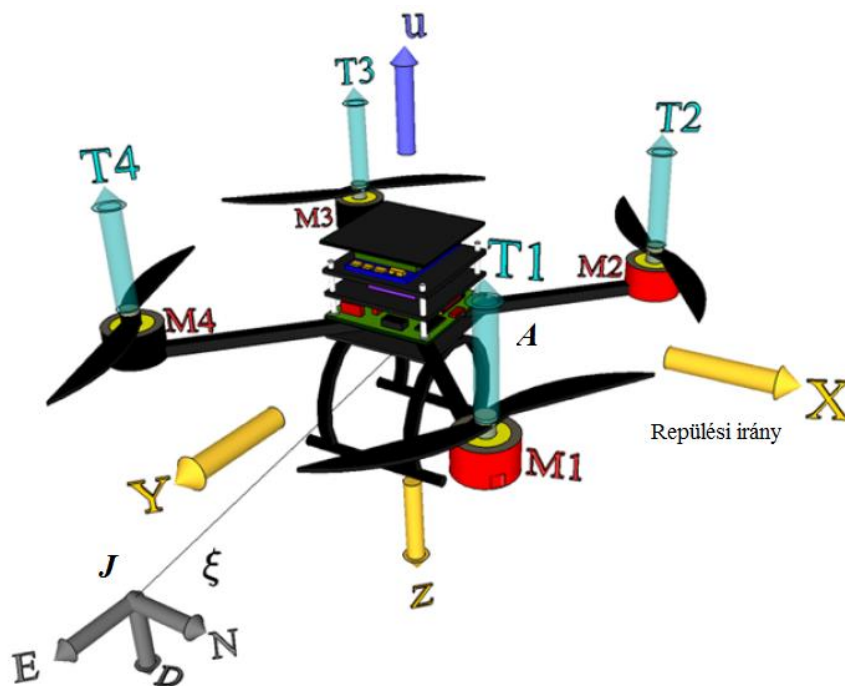
$$\ddot{y} = \frac{1}{m}u(\cos\phi \sin\vartheta \sin\psi - \cos\psi \sin\phi) \quad (54)$$

$$\ddot{z} = \frac{1}{m}u\cos\vartheta \cos\phi - g \quad (55)$$

Könnyen belátható, hogy az (53)–(55) egyenletek teljes formai azonosságot mutatnak a (30)–(32) egyenletekkel.

Az X-Type quadrotorok Newton–Euler mozgásegyenletei

Az előző fejezetben vizsgált quadrotorok klasszikus elrendezéssel bírtak: az Ox hossz tengely és az Oy kereszt-tengely egymásra merőlegesek voltak. Az ún. X-Type quadrotorok (X-elrendezésű quadrotorok) két elülső, és két hátsó motorral bírnak (5. ábra) [6]. A quadrotorok dinamikus mozgásegyenleteit a Newton-Euler módszer segítségével is meghatározhatjuk. A mozgásegyenletek levezetése során az UAV-hoz rögzített test-koordináta-rendszert jelölje $A \rightarrow \{X \ Y \ Z\}$, míg a Földhöz rögzített inercia koordináta-rendszer ún. NED (North-East-Down) elrendezésű, és jelölje $J \rightarrow \{N \ E \ D\}$ (5. ábra).



5. ábra A Quadrotor dinamikus NED-egyenletei. [12] alapján szerkesztette a szerző

Az X-Type quadrotor M_1 és M_3 motorjai az óramutató járásával megegyező forgásirányúak, míg az M_2 és az M_4 motorok forgásiránya az óramutató járásával ellentétes.

Feltételezzük, hogy a quadrotor eredő felhajtóereje egyensúlyt tart a súlyerővel, vagyis az UAV „függés”, vagy függéshez közeli egyensúlyi repülési helyzetben tartózkodik.

Az UAV tömegközéppontja és az $A \rightarrow \{X \ Y \ Z\}$ test koordináta-rendszer középpontja egybeesik. Az UAV tömegközéppontja helyét (helyvektorát) a Földhöz rögzített $J \rightarrow \{N \ E \ D\}$ inercia-rendszerhez képest a $\xi = (x, y, z)^T \in \mathfrak{R}^3$ vektor adja meg (5. ábra) [6].

Az UAV $A \rightarrow \{X \ Y \ Z\}$ test koordináta-rendszerének szöghelyzetét a Földhöz rögzített $J \rightarrow \{N \ E \ D\}$ inercia-rendszerhez képest az Euler-szögek $\eta = (\psi, \vartheta, \phi) \in \mathfrak{R}^3$ vektora adja meg (5. ábra) [12].

A quadrotor teljes, nemlineáris mozgásegyenlet-rendszere az alábbi egyenlet-rendszerrel adható meg [12]:

$$m\ddot{\xi} = -mg\mathbf{D} + \mathbf{R}\mathbf{F}, \quad (56)$$

$$\mathbf{I}\dot{\Omega} = -\Omega \times \mathbf{I}\Omega + \tau, \quad (57)$$

ahol \mathbf{R} : forgatómátrix, \mathbf{F} : az UAV-ra ható külső erők eredője, m : az UAV tömege, g : gravitációs gyorsulásvektor, \mathbf{D} : egységvektor a függőleges D-tengely (Down) mentén, Ω : test-koordináta rendszer szögsebesség vektora az inercia rendszerhez képest, \mathbf{I} : tehetetlenségi mátrix és végezetül, τ : az UAV-ra ható külső erők által létesített eredő nyomaték-vektor.

Legyen az UAV-ra ható eredő felhajtóerő $\mathbf{u} = \sum_{i=1}^4 \mathbf{T}_i$ (5. ábra), melyet a négy légszárnylapát hoz létre. Könnyen belátható, hogy a „Függés” repülési helyzetben az UAV-ra ható külső erők eredője a $\mathbf{F} = [0 \ 0 \ -u]^T$ egyenlettel adható meg. A forgatómátrix most is az alábbi alakú [12]:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} c \vartheta c \psi & c \psi s \vartheta s \phi - c \phi s \psi & s \phi s \psi + c \phi c \psi s \vartheta \\ c \vartheta s \psi & c \phi c \psi - s \vartheta s \phi s \psi & c \phi s \vartheta s \psi - c \psi s \phi \\ -s \vartheta & c \vartheta s \phi & c \vartheta c \phi \end{bmatrix}, \quad (58)$$

ahol: $c = \cos$, $s = \sin$.

Vezessük be a $\tilde{\tau}$ segédvektort az alábbiak szerint [6]:

$$\tilde{\tau} = \begin{bmatrix} \tilde{\tau}_\psi \\ \tilde{\tau}_\vartheta \\ \tilde{\tau}_\phi \end{bmatrix} = \mathbf{I}^{-1} \mathbf{W}^{-1} (-\mathbf{I} \dot{\mathbf{W}} \dot{\eta} - \mathbf{W} \dot{\eta} \times \mathbf{I} \mathbf{W} \dot{\eta} + \tau) \quad (59)$$

ahol $\Omega = \mathbf{W} \dot{\eta}$, illetve

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} -s \vartheta & 0 & 1 \\ c \vartheta s \phi & c \phi & 0 \\ c \vartheta c \phi & -s \phi & 0 \end{bmatrix}, \quad (60)$$

ahol: $c = \cos$, $s = \sin$.

Az (56)–(59) kifejezések segítségével az UAV dinamikus modelljének egyenes vonalú, illetve forgómozgás egyenletei felírhatóak az alábbi alakban is [12]:

$$m\ddot{x} = -u(\cos\psi\sin\vartheta\cos\phi + \sin\psi\sin\phi), \quad (61)$$

$$m\ddot{y} = -u(\sin\psi\sin\vartheta\cos\phi - \cos\psi\sin\phi), \quad (62)$$

$$m\ddot{z} = -u(\cos\vartheta\cos\phi + mg), \quad (63)$$

$$\ddot{\psi} = \tilde{\tau}_\psi, \quad (64)$$

$$\ddot{\vartheta} = \tilde{\tau}_\vartheta, \quad (65)$$

$$\ddot{\phi} = \tilde{\tau}_\phi. \quad (66)$$

Az UAV egyes motorjai által működtetett légcsavarlapátokon $T_i = C\omega_i^2$ felhajtóerő ébred, ahol C légcsavarlapát paramétereitől függő állandó és ω_i az i -edik rotorlapát szögsebessége.

További egyszerűsítő feltételként vesszük figyelembe, hogy az egyes motorok nyomatékai arányosak a felhajtóerővel, vagyis $\tau_i = C_M T_i$, ahol C_M a motor paramétereitől függő állandó. A fenti megfontolások után az X -Type quadrotor általános nyomatékait az alábbi mátrix-egyenlet adja meg:

$$\begin{bmatrix} \tau_\psi \\ \tau_\vartheta \\ \tau_\phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -C_M & C_M & -C_M & C_M \\ -l & -l & l & l \\ -l & l & l & -l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix}, \quad (67)$$

ahol l az UAV tömegközéppontja és a motorok forgástengelye között mért távolság (erőkar).

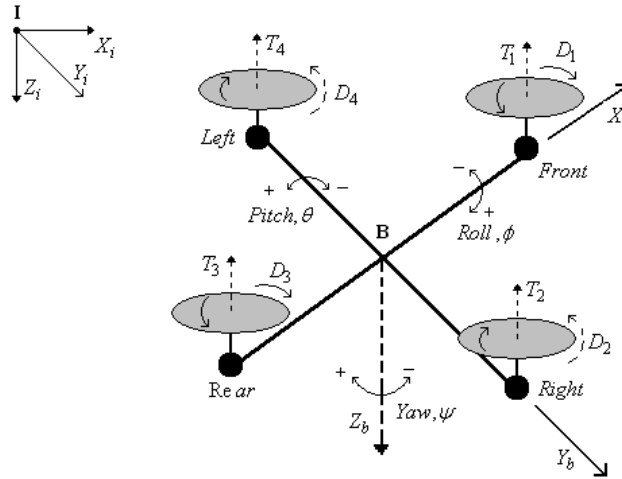
A fejezetben bemutatott multirotoros UAV dinamikus modellek egyszerűsített modellek, számos fizikai jelenséggel nem számoltunk (pl. rotorlapátok elasztikus lengése, az UAV szerkezetének elasztikus deformációja, rotorok lapátvégi leáramlása stb.).

Mindazonáltal, a fent bemutatott UAV dinamikus modellek alkalmasak arra, hogy az UAV repülésszabályozó rendszereinek tervezésekor első közelítésben alkalmazzuk őket az előzetes számítógépes tervezések és szimulációk során.

PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK VISELKEDÉSÉNEK SZÁMÍTÓGÉPES VIZSGÁLATA

Vizsgáljuk egy négyrotoros UAV (quadrotor) dinamikus viselkedését a 6. ábrán [3][4][5]. A „függés” repülési helyzetben mind a négy motor fordulatszáma azonos. Korábbról ismeretes, hogy a függőleges tengely mentén a manőverezést a négy motor fordulatszámának azonos mértékű, és azonos irányú megváltoztatásával tudjuk elérni.

A 6. ábrán **I** jelöli az inercia(vonatkoztatási) rendszert, míg **B** jelöli a légi járműhöz rögzített „test” koordináta-rendszert [5][6][7].



6. ábra. A Quadrotor dinamikus viselkedése a NED-rendszerben.

A légitűeszköz (UAV) „test” koordináta-rendszerben mért Euler-szögeinek változási sebessége az alábbi módon írható fel [5][6][7]:

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} & \dot{\vartheta} & \dot{\psi} \end{bmatrix}^T = \mathbf{M}^{-1} \begin{bmatrix} \omega_{x_i} & \omega_{y_i} & \omega_{z_i} \end{bmatrix}^T = \mathbf{M}^{-1} \mathbf{A} \begin{bmatrix} \omega_{x_b} & \omega_{y_b} & \omega_{z_b} \end{bmatrix}^T, \quad (68)$$

ahol: ϕ bedöntési szög; ϑ bólintási szög; ψ irányyszög; ω_{x_i} szögsebességek az inercia-rendszerben; ω_{x_b} szögsebességek a „test” koordináta rendszerben; valamint

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \frac{c\psi}{c\theta} & \frac{s\psi}{c\theta} & 0 \\ -s\psi & c\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \mathbf{A} = \begin{bmatrix} c\psi c\theta & c\psi s\theta s\phi - s\psi c\phi & c\psi s\theta c\phi - s\psi s\phi \\ s\psi c\theta & s\psi s\theta s\phi + c\psi c\phi & s\psi s\theta c\phi - c\psi s\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix} \text{ –forgatómátrixok,}$$

ahol: $c = \cos$, $s = \sin$.

Tekintettel arra, hogy számunkra a későbbi feladatok megoldása miatt csak a „test” koordináta-rendszer **B** pontjának a sebessége a szabályozandó paraméter, ezért a „test” koordináta-rendszerben mért sebességeket az alábbi egyenlettel határozhatjuk meg:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_b & \dot{y}_b & \dot{z}_b \end{bmatrix}^T = \mathbf{A}^{-1} \begin{bmatrix} \dot{x}_i & \dot{y}_i & \dot{z}_i \end{bmatrix}^T, \quad (69)$$

ahol x_b, y_b, z_b koordináták a test-koordináta rendszerben, és x_i, y_i, z_i koordináták az inercia(referencia) koordináta rendszerben.

A mozgásegyenletek levezetése során feltételezzük, hogy a quadrotor szerkezete merev és szimmetrikus; a quadrotor tömegközéppontja a **B** pontban helyezkedik el (6. ábra); a légszárnylapátok merev szerkezetek, és a quadrotor nem végez bólintó mozgást.

Az i -edik légszárnylapát által létesített felhajtóerő arányos az adott légszárny forgási sebességének négyzetével, vagyis [5][6][7][12]:

$$T_i = C_1 \left(\frac{1 - 2\pi LCS}{P\alpha_i} + 2\pi \frac{\dot{z}_b - w_{z_b}}{P\alpha_i} \right), \quad (70)$$

ahol: $C_1 = k_t \rho A_p \alpha_i^2 R_p^2$; k_t aerodinamikai felhajtóerő tényező; ρ a levegő sűrűsége; A_p a légszár felülete; α_i az i -edik légszár szögsebessége; R_p a légszár sugara; L a légszár középpontjának távolsága az origótól; P a légszár lapátok beállítási szöge, és végül, w_{z_b} a légköri turbulencia vektorának z -tengelyre eső vetülete. $C=1$, ha $i=1$, vagy $i=4$. $C=-1$, ha $i=2$, vagy $i=3$. $S = \omega_{y_b}$, ha $i=1$, vagy $i=3$. $S = \omega_{x_b}$, ha $i=2$, vagy $i=4$. A légi jármű hossz tengelye mentén ható erők eredője az alábbi egyenlettel írható le [5][6][7]:

$$F_{wI} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} k_s (w_{x_b} - \dot{x}_b) & k_s (w_{y_b} - \dot{y}_b) & k_u (w_{z_b} - \dot{z}_b) \end{bmatrix}^T, \quad (71)$$

ahol: k_s, k_u az egyenes vonalú mozgás együtthatói; w_{x_b} és w_{y_b} a légköri turbulencia vektorának x -, és y - tengelyekre eső vetületei, értelemszerűen.

A quadrotor térbeli lineáris mozgásának állapot-egyenlete a következő mátrixos alakban is megadható [5][6][7]:

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_i \\ \ddot{y}_i \\ \ddot{z}_i \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \omega_{x_b} \\ \omega_{y_b} \\ \omega_{z_b} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{x}_i \\ \dot{y}_i \\ \dot{z}_i \end{bmatrix} + g \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{F_{wI}}{m} - \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{m} \mathbf{A} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (72)$$

ahol: g a nehézségi gyorsulás, m az UAV tömege.

Ismeretes, hogy a légszár lapátok légellenállásból származó nyomatéka arányos a légszár lapát forgási sebességének a négyzetével, vagyis [5][6][7]:

$$D_i = C_2 \left(\frac{1 - 2\pi LCS}{P \alpha_i} + 2\pi \frac{\dot{z}_b - w_{z_b}}{P \alpha_i} \right), \quad (73)$$

ahol: $C_2 = k_d \rho A_p \alpha_i^2 R_p^3$; és k_d a nyomatéki együttható.

A légszár lapátok eredő reakciónyomatéka az alábbi egyenlettel írható le:

$$I_{ct} = J_p (-\dot{\alpha}_1 + \dot{\alpha}_2 - \dot{\alpha}_3 + \dot{\alpha}_4), \quad (74)$$

ahol: J_p egy légszár lapát tehetetlenségi nyomatéka.

A súrlódási terhelő nyomatékot az alábbi egyenlet alapján is számíthatjuk:

$$\mathbf{M}_f = k_r \begin{bmatrix} \dot{\phi} & \dot{\theta} & \dot{\psi} \end{bmatrix}^T, \quad (75)$$

ahol: k_r a súrlódási együttható.

A légi jármű motorjának forgórészére redukált nemirányítható zavarások (pl. légköri turbulencia) a következő összefüggéssel írható le:

$$\tau_d = \begin{bmatrix} \tau_{x_b} & \tau_{y_b} & \tau_{z_b} \end{bmatrix}^T, \quad (76)$$

A légi jármű giroszkópikus nyomatéka a következő egyenlettel írható le:

$$\mathbf{M}_g = J_p \begin{bmatrix} \dot{\theta} \alpha & \dot{\phi} \alpha & 0 \end{bmatrix}^T, \quad (77)$$

ahol: $\alpha = -\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3 + \alpha_4$.

Mindezek alapján, a quadrotor térbeli forgómozgásának állapot-egyenlete a következő mátrixos alakban is megadható [5][6][7]:

$$\begin{bmatrix} \dot{\omega}_{x_b} \\ \dot{\omega}_{y_b} \\ \dot{\omega}_{z_b} \end{bmatrix} = -J^{-1} \omega \times J \begin{bmatrix} \omega_{x_b} \\ \omega_{y_b} \\ \omega_{z_b} \end{bmatrix} - J^{-1} (\mathbf{M}_f + \tau_d + \mathbf{M}_g) + J^{-1} \begin{bmatrix} L(T_4 - T_2) \\ L(T_1 - T_3) \\ D_1 - D_2 + D_3 - D_4 + I_{ct} \end{bmatrix}, \quad (78)$$

ahol: $\omega = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{z_b} & \omega_{y_b} \\ \omega_{z_b} & 0 & -\omega_{x_b} \\ -\omega_{y_b} & \omega_{x_b} & 0 \end{bmatrix}$, $J = \begin{bmatrix} J_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & J_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & J_{zz} \end{bmatrix}$ a főtehetlenségi mátrix; J_{xx} , J_{yy} , J_{zz} rendre

a hossz-, a kereszt- és a függőleges tengelyre vett főtehetlenségi nyomatékok.

Ismeretes, hogy az egyenáramú motor – kis motor induktivitás esetén – dinamikus egyenlete a következő alakban írható fel:

$$J_p \dot{\alpha}_i = G \tau_{m_i} - D_i, \quad (79)$$

ahol: $\tau_{m_i} = k_i (V_i - \frac{k_v \alpha_i}{G}) R^{-1}$ a motor dinamikus gyorsító nyomatéka; k_i a motor állandója; k_v

a motor forgási sebesség állandója; V_i a motor vezérlő feszültsége; R a motor Ohm-os ellenállása; G a motor-légcsavar rendszer áttételi száma.

Vizsgáljuk kismagasságú „függés” repülési helyzetben a quadrotor dinamikáját, ha a függőleges tengely mentén kell emelkedő mozgást végrehajtania. A kiindulási feltételek – zavarásmentes esetre – most az alábbiak lesznek:

$$\theta = 0^\circ; \phi = 0^\circ; \psi = 0^\circ; v_{x_{b0}} = 0 \text{ m/s}; v_{y_{b0}} = 0 \text{ m/s}; v_{z_{b0}} = 0 \text{ m/s}, \quad (80)$$

A (68) – (72) egyenleteket felhasználva, a (80) kezdeti feltételek figyelembe vételével a quadrotor függőleges tengely mentén végrehajtott mozgásának dinamikus egyenlete az alábbi alakban írható fel [5][6][7]:

$$\ddot{z}_b = \frac{F_{ml}}{m} - \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{m} + g, \quad (81)$$

Az egyes rotorlapátok felhajtóereje az alábbi egyenlettel adható meg:

$$T = C_1 \left(\frac{1}{P \alpha_i} + 2\pi \frac{\dot{z}_b}{P \alpha_i} \right), \text{ ahol } C_1 = k_t \rho A_p \alpha_i^2 R_p^2 = 4,15872 \cdot 10^{-6} \alpha_i^2 \quad (82)$$

Helyettesítsük be a (82) egyenletet a (81) egyenletbe. Az alábbi egyenletet kapjuk:

$$\ddot{z}_b + \dot{z}_b \left(\frac{1}{m} + \frac{4}{m} C_1 2\pi \frac{1}{P \alpha_i} \right) = g - \frac{4}{m} C_1 \frac{1}{P \alpha_i}. \quad (83)$$

Egy hipotetikus quadrotor paramétereinek felhasználásával a (83) egyenlet a következő alakban írható fel [5][6][7]:

$$\ddot{z}_b + \dot{z}_b(0,222568 + 153,0451369 \cdot 10^{-6} \alpha_i) = 9,81 - 24,35789 \cdot 10^{-6} \alpha_i \quad (84)$$

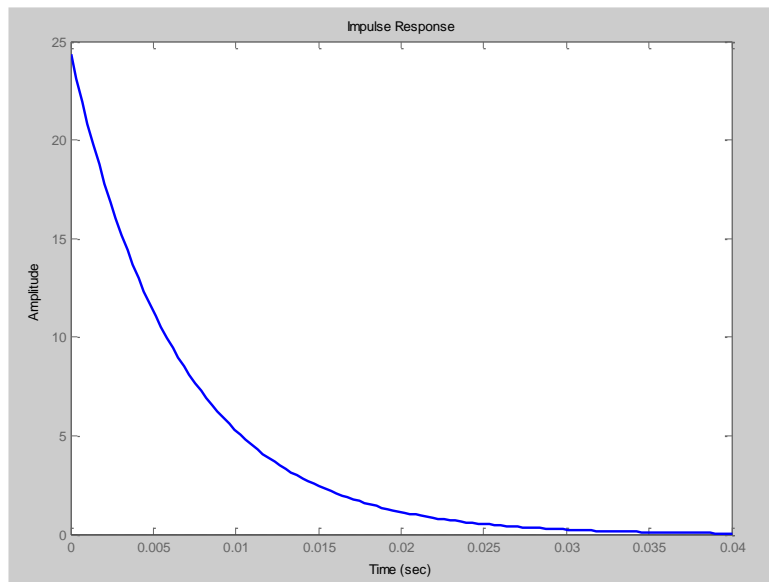
Legyen $\alpha_{i_0} = 1000 \text{ ford./p}$. Ily módon, a függőleges sebesség változását az alábbi egyenlet adja meg [5][6][7]:

$$\dot{v}_b + v_b 153,2677049 = 9,81 - 24,35789 \Delta \alpha_i \quad (85)$$

A (85) egyenlet alapján a quadrotor egyenesvonalú mozgása a függőleges tengely mentén az alábbi átviteli függvénnyel adható meg [5][6][7]:

$$Y(s) = \frac{v_b(s)}{\Delta \alpha_i(s)} = - \frac{24,35789}{153,2677049 + s} \quad (86)$$

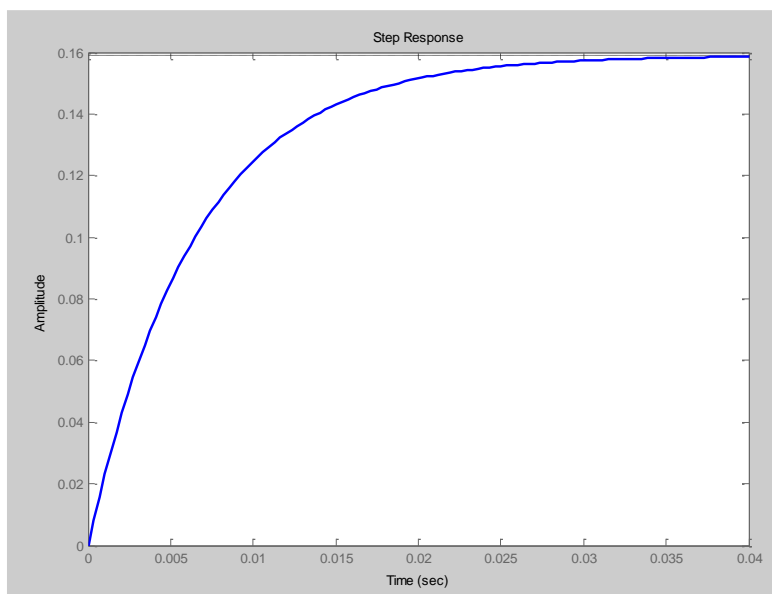
Vizsgáljuk meg a (86) egyenlettel megadott quadrotor dinamikát időtartományban. A számítógépes szimuláció eredménye a 7., és a 8. ábrákon láthatóak.



7. ábra A Quadrotor dinamikus viselkedése – súlyfüggvény (MATLAB-script: Szabolcsi)

A 7. ábrán jól látható, hogy a súlyfüggvény (válaszfuggvény) értéke állandósult állapotban zérushoz tart, vagyis, a quadrotor dinamikus értelemben stabilis viselkedésű, ami elengedhetetlenül fontos ahhoz, hogy az erőhatásmentes UAV képes legyen megtartani eredeti munkaponti repülési helyzetét.

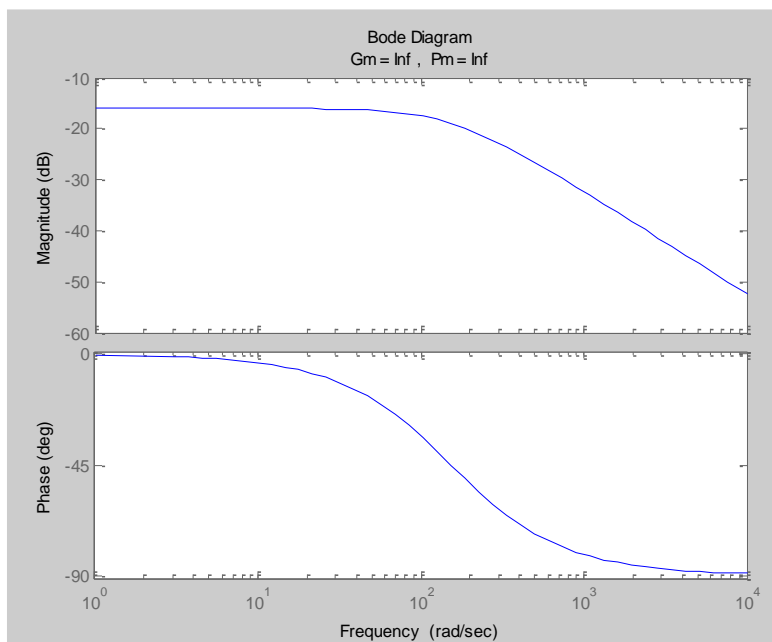
A 8. ábrán láthatjuk, hogy az UAV exponenciális jelleggel válaszol az egységugrás bemeneti jelre.



8. ábra A Quadrotor dinamikus viselkedése – átmeneti függvény (MATLAB-script: Szabolcsi)

Az UAV stabilis viselkedésű, hiszen korlátos bemeneti jelre, korlátos kimeneti jellel válaszol. A függőleges sebesség állandósult állapotbeli értéke viszont nagyon kicsi, így a megfelelő sebességű helyváltoztatáshoz nagyobb energiájú bemeneti jelet kell adni, hogy az UAV kellően érzékeny legyen a bemeneti jelre. A tranziens folyamat gyors, néhány századmásodperc.

Az UAV frekvencia-függvényének Bode-diagramja a 9. ábrán látható.



9. ábra A Quadrotor frekvenciafüggvénye – Bode diagram (MATLAB-script: Szabolcsi)

A 9. ábrán jól látható, hogy a quadrotor alul-áteresztő jellel viselkedik. Nagyfrekvenciás tartományban „levágja”, amplitúdóban csillapítja a bemeneti jeleket, és jól szűri a nagyfrek-

venciás zajokat is. Úgy az erősítési-, mint a fázistartalék végtelen értékű. A (86) átviteli függvény arányos, egytárolós tagot ad meg, így az erősítés körfrekvencia jelleggörbe vízszintes szakasza a $\approx 1/153,26$ 1/s törésponti frekvencián – 20 dB/dekád meredekségűre vált.

BEFEJEZÉS

A multirotoros pilóta nélküli légi járművek kiemelkedő helyet foglalnak el egyes repülési feladatok megoldásakor. Az UAV azon képessége, hogy a helikopterekhez hasonlóan, képes függeni, függés közeli helyzetben manőverezni, mindeközben megtartani az irányíthatósági- és kormányozhatósági képességeket, teszi egyedivé a multirotoros UAV-t. Az UAV-k irányítása, a fedélzeti szabályozó- és vezérlő logikák azonban megkövetelik, hogy ismerjük az UAV térbeli mozgásának dinamikai egyenleteit és adott esetben tudjuk kiértékelni azokat. E témában meglehetősen kevés publikáció született. A szerző e tanulmány megírásával arra vállalkozott, hogy ebben a témában egy szakmai összefoglaló cikket készít, ami a maga nemében hiánypótló, és ez a cél meg is valósult.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] McLean, D., Automatic Flight Control Systems, Prentice-Hall International, New York-London-Toronto-Sydney-Tokyo-Singapore, 1990.
- [2] Nelson, L. C., Flight Stability and Control, McGraw-Hill Companies, Inc., Boston, Massachusetts, Burr-Ridge, 1998.
- [3] Valavanis, K. P. (Ed.): Advances in Unmanned Aerial Vehicles, Springer, ISBN 978-1-4020-6113-4, 2007.
- [4] Austin, R. Unmanned Aircraft Systems – UAVs Design, development and deployment. John Wiley & Sons Ltd., ISBN 978-0-470-05819-0, 2010.
- [5] Szabolcsi, R.: Katonai robotok számítógéppel támogatott tervezése – QUADRO LAB szakmai műhely létesítése az új, nemzeti közszolgálati egyetemen. IX. Elektronikus Műszaki Füzetek, ISBN: 978-963-7064-25-8, pp (11-27), 2011.
- [6] Szabolcsi, R. Multirotoros légi járművek repülésdinamikai modelljei, és azok vizsgálata. Repüléstudományi Közlemények, ISSN: 1417-0604, eISSN: 1789-770X, 23:(2), pp(1-11), 2011.
- [7] Szabolcsi, R.: Katonai robotok számítógéppel támogatott tervezése - QUADRO LAB szakmai műhely alapítása az új, nemzeti közszolgálati egyetemen. Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye, ISSN 2062-9737, 2011/1: pp(31-42), 2011.
- [8] Cai, G. – Chen, B.M. – Lee, T.H. Unmanned Rotorcraft Systems. Springer-Verlag London Ltd., ISBN 978-0-85729-634-4, 2011.
- [9] Banhart, R.K – Hottman, S. B. – Marshall, D.M. – Shappee, E. Introduction to Unmanned Aircraft Systems. CRC Press, Taylor & Francis Group, ISBN 978-1-4398-3521-0, 2012.
- [10] Beard, R.W. – McLain, T.W.: Small Unmanned Aircraft. Theory and Practice. Princeton University Press, Princeton and Oxford, ISBN 978-0-691-14921-9, 2012.
- [11] Fahlstrom, P.G. – Gleason, T.J.: Introduction to UAV Systems. John Wiley & Sons, Ltd., ISBN 978-1-119-97886-4, 2012.
- [12] Luis Rodolfo García Carillo – Alejandro Enrique Dzúl López - Rogelio Lozano – Claude Pégard: Quad Rotorcraft Control – Vision-Based Hovering and Navigation, Springer-Verlag London, ISBN 978-1-4471-4399-4, 2013.

FLIGHT DYNAMICS OF THE MULTIROTOR UAVS

Multirotor UAVs are a special set of rotary wing UAVs. Capabilities of the multirotor UAVs allow to differ it from other UAV classes and types. The capability to execute hover maneuver, to maneuver along side the vertical axis, capability to change directional angle in hover, flying at extremely low heights with extremely low speeds make multirotor UAVs unreplaceable in many flight missions. There are only few works about flight dynamics characteristics of the multirotor UAVs, about its flying qualities, about control forces and moments' principles. The main mission of the author is to derive general scheme of the spatial motion control and mathematical model of the multirotor UAVs, to find state space models of the UAV being steered in longitudinal and in lateral meaning being separated from each others. The purpose is also to give an example of the UAV computer aided analysis both in the time and in the frequency domains.

Keywords: UAV, multirotor UAV, quadrotor, Euler-Lagrange equations, equations of the spatial motion of the UAV.

Prof. dr. SZABOLCSI Róbert
tanszékvezető, egyetemi tanár
Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki
Kar
Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet
Mechatronika Tanszék
szabolcsi.robert@bgk.uni-obuda.hu
orcid.org/0000-0002-2494-3746

SZABOLCSI Róbert, PhD
Head of Department, Professor
Óbuda University
Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engi-
neering
Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering
Department of Mechatronics
szabolcsi.robert@bgk.uni-obuda.hu
orcid.org/0000-0002-2494-3746



<http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2016.pdf>

REPÜLŐESZKÖZÖK TÜZELŐANYAGGAL TÖRTÉNŐ LÉGIUTÁNTÖLTÉSÉNEK MÓDSZEREI, HAGYOMÁNYOS ÉS ÚJALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI

A repülőgépek levegőben, repülés közben üzemanyaggal történő utántöltése, több mint egy évszázados múltra tekint vissza. Ennek jelentősége, egészen napjainkig, – alapvetően a katonai repülésben – fokozatosan növekedett, gyakorlatilag nélkülözhetetlenné vált. A XXI. század első évtizedében új elemként jelent meg a robotrepülőgépek légi utántöltésének szükségessége, majd környezetvédelmi, repülésbiztonsági, valamint gazdaságossági megfontolásból e módszer polgári repülésben történő alkalmazásának igénye is. Új, jelenleg is intenzíven kutatott terület, a légijárművek számára számításba vehető, alternatív energiahordozók repülésközben történő megbízható utántöltési eszközeinek, rendszereinek, valamint technológiáinak kimunkálása.

Kulcsszavak: üzemanyagok légi utántöltés hajlékony tömlővel, teleszkópikus csővel, helikopterek, robotrepülőgépek, elektromos, polgári légijárművek, űreszközök, alternatív utántöltése

1. A REPÜLŐGÉPEK LÉGIUTÁNTÖLTÉSÉNEK SZÜKSÉGESSÉGE, TÖRTÉNETE ÉS ÁLTALÁNOS KÖVETELMÉNYEI

1.1. A légi utántöltés szükségessége

A repülőszerkezetek tüzelőanyaggal történő utántöltése a levegőben, a következő okok valamelyike (vagy mindegyike) következtében kerülhet sor:

- induláskor, a tüzelőanyag-mennyiség csökkentésével a nekifutási úthossz lerövidítése, vagy a szállítható hasznos terhelés növelése, változatlan nekifutási úthossz mellett;
- a repülőgép hatótávolságának (hatósugarának), repülési (légi űrjáratozási) idejének jelentős növelése. (Utóbbi ok miatt helikoptereket is ellátnak ilyen berendezésekkel);
- nem szükséges külső póttartály felszerelése (ami növeli a légellenállást és így az üzemanyag-fogyasztást, csökkenti a külső függesztményként szállítható fegyverzet mennyiségét, rontja a manőverező-képességet);
- belátható időn belül számottevően javítani a hosszú távú (polgári) repülések gazdaságosságát, csökkentve a környezetszennyezést;

1.2. A légi utántöltés története

A repülőgépek levegőben, tüzelőanyaggal történő utántöltésének szükségessége már több mint 100 évvel ezelőtt, – a repülés elterjedését, a légijárművek ipari méretű előállításának kezdetét követően megjelent – döntően a kontinensnyi méretű és/vagy jelentős gyarmatbirodalommal rendelkező országokban (USA, Brit birodalom stb.). Oka eleinte nem is katonai volt, egyszerűen a nagy, transzkontinentális távolságok megbízható áthidalására – kellően kiépített ellátó infrastruktúra nélkül – más módszer nem tűnt gazdaságosan megvalósíthatónak.

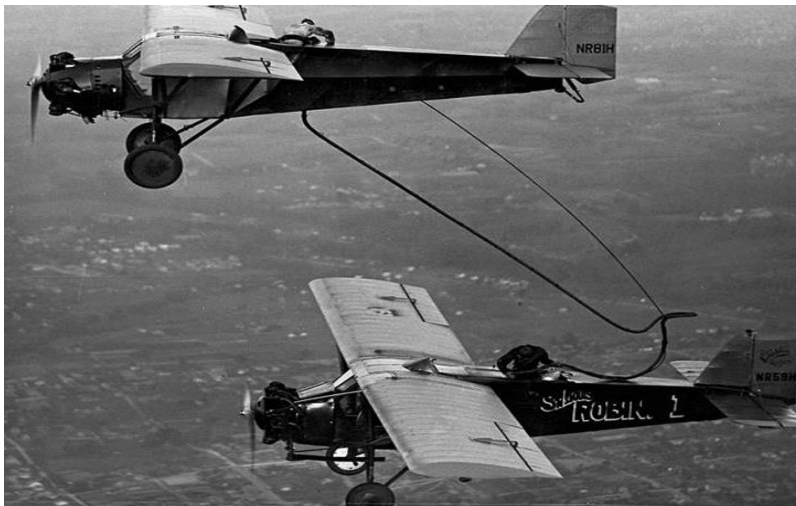
Az első légi légiutántöltés 1912-ben (mindössze 9 évvel az első repülőgép levegőbe emelkedését követően!) történt (1. ábra). Itt, a légijárművek egymást annyira megközelítették, hogy a

„tanker” személyzetének egyik tagja a szárnyvégre kiállva átadhatta az üzemanyaggal vagy motorolajjal töltött kanná(ka)t a másik gép személyzete a kezébe. Bár a kísérletek katasztrófa-mentesen lezajlottak, érdemi folytatásáról (érthetően!) nincs információ [23]. Ezzel egy időben – hasonló eredményességgel – történtek próbálkozások kissebességű, földközeli áthúzás közben, a felszínen haladó (töltő-)gépkocsiból történő üzemanyag felvételre is.



1. ábra Az első légiutántöltés kézből kézbe kannával [Fotó: fly.historicwings.com]

Megbízhatóbb, – a későbbi eljárások alapjául szolgáló – módszert 1923-ra munkáltak ki [25]. Ennél, a külön e célra felszerelt üzemanyagtartállyal ellátott töltőrepülőgépből (2. ábra, felül) drótkötél segítségével leengedték a töltőcsövet a töltendő repülőgép személyzetének, akik azt elkapva az üzemanyagot töltőpisztollyal engedték saját tartályukba. Az átfolyást kizárólag a két légijármű közötti néhány méternyi repülési-magasság különbsége tette lehetővé.

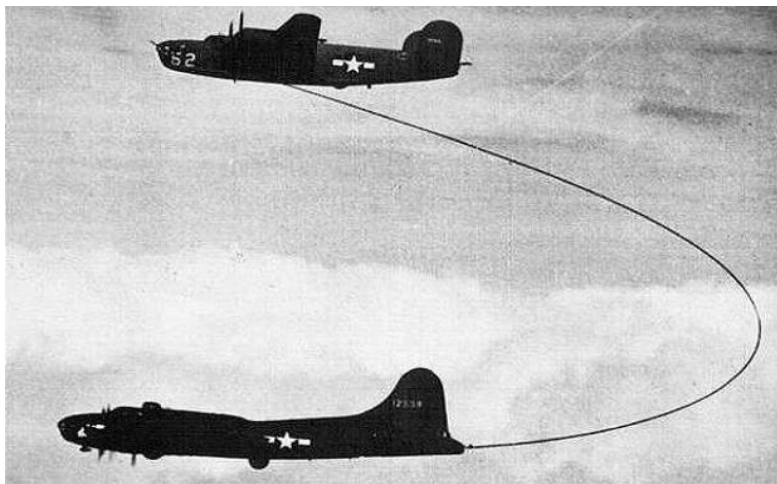


2. ábra Két Curtiss Robin repülőgép légiutántöltést hajt végre 1929-ben (Saint Luis, USA) [24]

1923 augusztusában e módszerrel felállították a leszállás nélküli repülés világrekordját. A 13 óra 15 perces repülés során, 9 utántöltéssel 2600 liter üzemanyagot és 140 liter motorolajat adtak át. Bár ez az eljárás a 20-as évek második felére gyakorivá vált és vele időtartam rekordok sorát is felállították (1929 januárjában egy Atlantic Fokker C2A-val 6 nap 15 óra 40 perc, majd ez év júniusában egy Curtiss Robin-nal 17 nap 12 óra 17 perc). A későbbiekben az ejtőtartályos kialakítás adta alacsony átszállítási kapacitás, valamint a betöltésnél létrejövő nagy elfolyási

vesztességek miatt, a légiutántöltés ilyen módját elvetették. 1935 júniusában – e módszert korszerűsítve – stabilabb és veszteségmentes átfolyást lehetővé tevő, módosított töltőfejet alkalmazva felállítottak egy 23 nap 5 óra 34 perces időtartam rekordot [23][24].

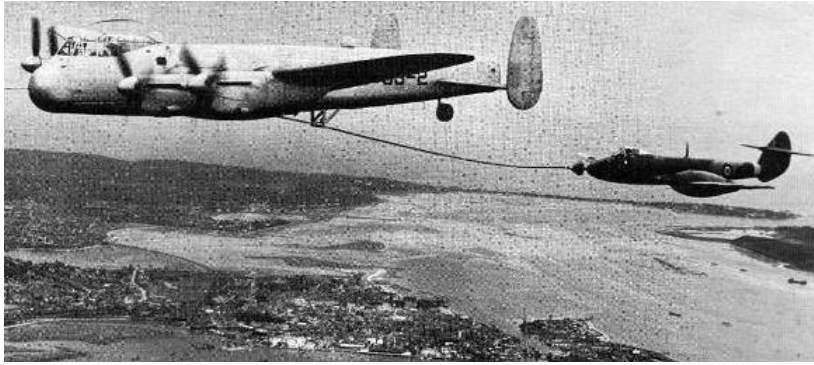
Mivel ez a technikai megoldás továbbfejlesztve a későbbi bevált eljárások alapjául szolgált – számos további kísérlet, konstrukciós megoldás közül – *Alan Cobham*-é érdemel említést, aki 1934-ben alapított *Fligt Refueling Company* nevű vállalatot – a tervezet polgári, transz-atlanti repülőjáratok légiutántöltéssel történő kiszolgálására. Az alapjaiban már 1935-ben, – szándéka szerint a polgári légi szállítás számára – kidolgozott és kipróbált módszerét (3. ábra) végül az USA katonai repülése kezdte fokozatosan bevezetni be és hasznosítani [25].



3. ábra Légiutántöltés 1949-ben Alan Cobham módszerével [Forrás: airrefuelingarchive.wordpress.com]

A *Grappled-line looped-hose* (vagy csak *looped-hose*) nevű eljárás lényege, hogy a töltendő repülőgép, (a 3. ábrán alul egy B-17E) olyan, csatlakozó fülecsben végződő acél sodronykötelet bocsájtott ki, melyhez a töltőcsövet rögzítették. Megfelelő manőverek után a töltő repülőgép (a 3. ábrán felül egy B-24D) speciális kampóval fogta be a fülecset és segítségével bevonta, majd csatlakoztatta a töltőcsövet törzsén lévő töltőcsonkhoz. A ~900 kg/min maximális intenzitású feltöltés végén megtörtént a szétcsatlakoztatás és a már feltöltött repülőgép bevonta a sodronykötéllal a töltőcsövet is [23][24].

A napjainkban is alkalmazott, áramvonalazó kúpon, stabilizáló ernyőbe végződő, hajlékony tömlővel történő légi utántöltési módozat alapjait is – nem kismértékben az előzőekben megismert, általa kimunkált módszer tapasztalatait hasznosítva – Alan Cobham dolgozta ki [25]. Az 1949-ben végrehajtott első kísérleti repülésen tankerként egy bombázó repülőgépből átalakított Avro Lancaster szolgált, mely 30 méter hosszú tömlőn keresztül, egy gázturbinás hajtóművekkel felszerelt Gloster Meteor vadászrepülőgéppnek adott át egy repülés során tízszer, összesen 10 700 liter üzemanyagot (4. ábra). Utóbbi így, leszállás nélkül 12 óra 3 percet töltött a levegőben! A kúp és a vadászrepülőgép orrán elhelyezett csatlakozó cső megbízható összekapcsolódását – a megfelelő manővereket követően – beépített mágnes is segítette. A csatlakozás létrejötte után a töltőrepülőgép operátora megnyitotta az üzemanyagcsapot és a szintkülönbség következtében – melyet a törzs alján elhelyezett, nyitható, rácsszerkezetű távtartó is biztosított – megtörtént az átfolyás. A későbbiekben már szivattyút is építettek be, amely ~900 kg/min átszállítást tett lehetővé [23][24].



4. ábra Hajlékonytömlős kísérleti légiutántöltés 1949-ben [forrás: fotoforoaviones.com]

1.3. A légi utántöltő rendszerrel szemben támasztott követelmények

A közel három évtizedes kísérletek, az egyre szélesebb körben történő alkalmazások meggyőzően bizonyították a légiutántöltés technikai megvalósíthatóságát és a széles körben is használható módszerek kimunkálásához számos értékes tapasztalatot nyújtottak. Ennek eredményeként, az ilyen rendszer kialakítása és üzemeltetése, – annak a szerkezeti megoldásától függetlenül – az alábbi követelményeknek kell(ett) megfelelnie [13]:

- minimális töltési idő (azaz nagy átszállítási kapacitás!);
- megbízható, gyors, kis szerkezeti tömegű, automatikus – szükség szerint többszöri – szét- és összekapcsolódást biztosító mechanizmus, nagyteljesítményű fel-/áttöltő berendezések megléte;
- ne legyen tűzveszélyes;
- függetlenség földi feltöltő rendszertől;
- a hajlékony tömlő szilárdsága, rugalmassága ne függjön környezeti hőmérsékletétől;
- utántöltéskor – annak teljes üzemeltetési repülési sebesség-magasság tartományban – mindkét légi jármű tartályaiban a túlnyomás maradjon változatlan értéken;
- a rendszer szerkezeti megoldása akadályozza meg a túltöltést, a benne áramló tüzelőanyag súrlódása ne okozzon elektrosztatikus feltöltődését.

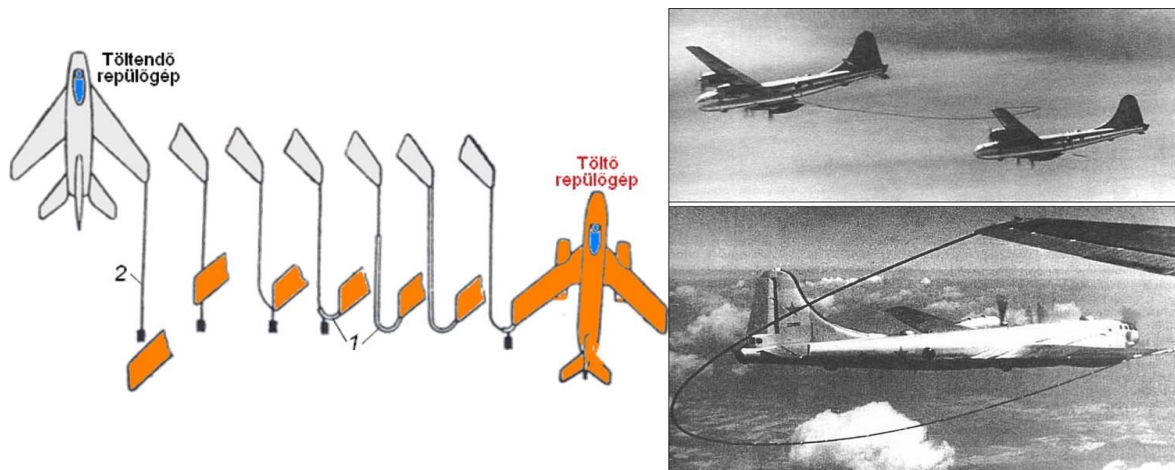
2. A LÉGIUTÁNTÖLTÉS ALKALMAZOTT GYAKORLATI MÓDSZEREI

2.1. Feltöltés sodronykötéllal mozgatott hajlékony tömlővel („szárnyból-szárnyba” eljárás)

Kizárólag csak a szovjet légierőben alkalmazott, módszer. A két változatban is kimunkált, nehézkes, bonyolult eljárás alapvető célja az volt, hogy az utántöltésben résztvevő légi járművek egyike se kerülhessen – a megközelítés, összekapcsolódás, valamint áttöltés közben – a másik által megzavart áramlási zónába.

2.1.1. Tu-4-es változat

Ezt a módszert a '40-es évek végén, kifejezetten a Tu-4-es, dugattyús motoros, légszavas bombázó repülőgépek számára dolgozták ki [24][27]. Itt a feltöltendő repülőgép repült a töltőhöz képest balról előrébb, minimális mértékben lejjebb (5. ábra). A jobb szárnyvégből – annak közel vízszintes helyzetét kis ernyővel biztosító – sodronykötelet (2) bocsátottak ki, a végén horoggal. Ez, a légijárművek manőverei eredményeként a töltőrepülőgép bal szárnyvégeből kiengedett rövid, a végén csatoló elemmel és nehezékkel közel függőleges helyzetbe állított másik sodronykötélhez kapcsolódott. Utóbbi kötélt másik végéhez a töltőcső csatlakozó fejét rögzítették. Az összekapcsolódást követően a töltendő repülőgép csörlővel behúta sodronykötélét, vele a töltő légijármű szárnyából a hajlékony üzemanyagtöltő tömlőt (1).



5. ábra Légiutántöltés szárnyból szárnyba Tu-4-esekkel (1. változat) [13]

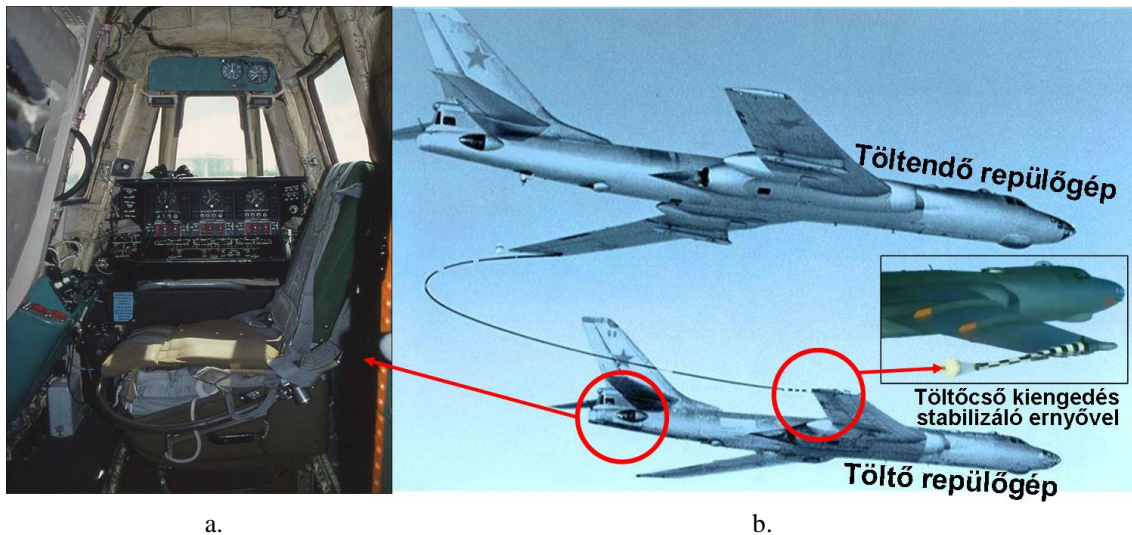
A sodronykötél teljes bevonásakor a tömlő vége hozzákapcsolódott a töltendő repülőgép speciális csatlakozójához. A csatlakozást követően bekapcsolták a szivattyút és megindult a tüzelőanyag áttöltése. A feltöltés végén a folyamat fordított sorrendbe történt és az összekapcsolt elemek oldásával végződött.

A hosszú tömlő és a résztvevők egymásmelletti helyzete, lehetővé tette a két összekapcsolt repülőeszköz biztonságos térbeli távolságtartását és szükség szerinti korrekciókat.

2.1.2. Tu-16-os változat

A Tu-4-re kimunkált rendszert fejlesztették tovább a Tu-16-os bombázó-repülőgépek számára. (Ezekből az egykori Szovjetunióban 571 darabot gyártottak, melyek közül 114-et építettek át 20 tonna üzemanyag átadására alkalmas, tankerként is üzemeltethető változattá [27].)

A csatlakoztatási eljárásban az alapvető különbséget az jelentette, hogy e változatnál a töltő repülőgép haladt balról, némileg előrébb, jobb szárnyvégből közvetlenül – a végén zárszerkezettel és stabilizáló ernyővel ellátott – töltőcsövet engedte ki, amit a töltendő légijármű fogott be és csatlakoztatott, a röviden kiengedett sodronykötélén elhelyezett, súlynehezékkel kombinált zárszerkezethez (6.b. ábra).



6. ábra Tu-16 tanker tölt Tu-16-os bombázó repülőgépet és a töltőoperátor fülkéje [13]

A kidolgozott eljárás működőképessége, annak más típusokra történő adaptálására inspirálta a katonai vezetést, így néhány MiG-15-öst és MiG-19-est is alkalmassá tettek e módszerrel történő légi utántöltésre (7. ábra). A kísérleti repülések azonban egyértelművé tették, hogy vadászrepülőgépeknél ez így, hatékonyan nem megvalósítható [23][27].



7. ábra MiG-19-es vadászrepülőgép kísérleti légiutántöltése „szárnyból-szárnyba” [27]

Ennek az áttöltési eljárásnak mindkét változata, bombázó-repülőgépek esetében is hosszadalmas, bonyolult csatlakoztatási manővert feltételezett. Ez főként azért volt nehéz, mert közben a repülőgépvezetők nem látták a töltőcsövet és a csatlakozó elemeket, így a közelítés és az összekapcsolás során az átalakított faroklövész fülkében tartózkodó töltőoperátor és a töltendő repülőgép faroklövészének szóbeli távirányítására kellett hagyatkozniuk (6.a. ábra). Az összekapcsolás, a tömlő ki- és visszacsörlőzése, a tüzelőanyag átszivattyúzásának minden mozzanata vizuális tájékozódás alapján, kézi vezérléssel történt.

Mindkét töltési változat közös hiányossága volt, hogy a ~38 méter hosszú kibocsátott drótkötél vagy tömlő, a szárnyvégről leváló örvénysor hatására hajlamos volt belengésre, eközben megsértve, működésképtelenné téve a hátul haladó repülőgép baloldali csűrőlapját.

Megjegyzés

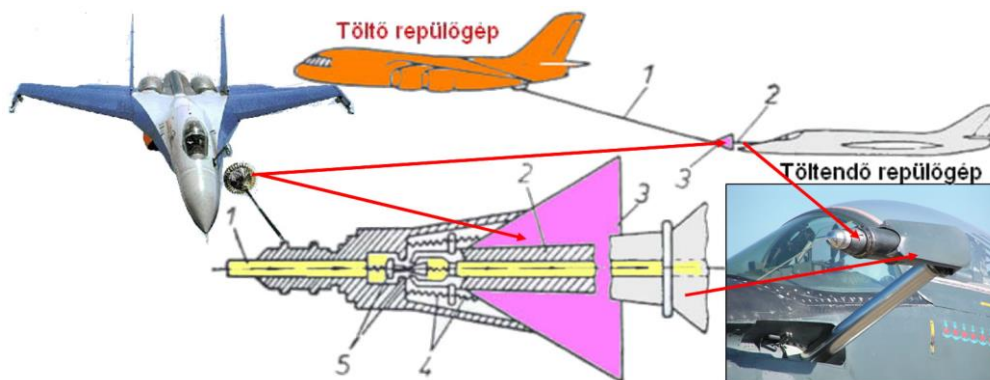
Valójában az eljárás alkalmazása olyan, a biztonságos tevékenységet korlátozó – napjaink repülőorvoslásában is kiemelten kezelt [17] – stresszt okozott a hajózárszemélyzetnek, melyet a korabeli katonai vezetés sem hagyhatott figyelmen kívül. A két érintett ezred 15 ekipázsánál, az

áttöltési manőver közben végrehajtott pszicho-fiziológiai mérések szerint, a fedélzeteken tartózkodók pulzusszáma ilyenkor 186–220-ra (normál 76–80), percnkénti lélegzetvételszáma akár 64-re is (normál 15–16) emelkedett, számottevő verejtékezés közepette testhőmérsékletük is magasabb lett. Mindennek következményeként, egyetlen utántöltés során, a hajózók testtömege akár 4–5%-kal is csökkenhetett [27].

Az előzőekben felsoroltak okán, a légiutántöltés e módja Tu-16-osok kivonásával teljesen megszűnt, sőt már korábban megkezdték a típus átalakítását is, a következő (2.2.) fejezetben bemutatott megoldására.

2.2. Légiutántöltés kúpba végződő hajlékonytömlővel

A manőver kezdetén a töltő repülőgépből olyan hajlékony tömlőt (1) bocsátanak ki, amely végén rugalmasan kinyíló tartó elemekből álló kúp (3) van. Utóbbira rögzítik a cső lengésmentes repülési helyzetét biztosító a stabilizáló ernyőt (8. és 26. ábra). Az aktív szerep a töltendő repülőgépe, amely megfelelő manőverek után csatlakozócsövének végét (2) a kúp (3) belsejében levő elfogó-rögzítő mechanizmusába (4) tolja.



8. ábra Hajlékonytömlős légiutántöltés csatlakozó elemei [13]

A csővég (2) 50–150 N-os nyomóerő hatására kinyitja az átbocsátó szelepet (5). A kényszer szétkapcsolás 1000–1500 N-os húzóerő hatására következik be a szelep zárásával. Az átfolyás megindítása, illetve leállítása $t_{\max}=2$ s-ot igényel, az össze-/szétkapcsolódást követően A szétkapcsol(ód)ást követően a szelep (5) meghibásodása balesetveszélyt okozhat (9. ábra).



9. ábra A szétkapcsolódás után a tömlő végén elhelyezett zárószelep meghibásodása [24]

A feltöltendő repülőgép, – rendszerint törzsből, szárnyból kinyitható – csatlakozóját (2) lehetőleg úgy helyezik el, hogy alig zavarva a kilátását a repülőgépvezető látási zónájában legyen, távolsága a törzstől, akadályozza meg a kúp fülkeüvegezéshez ütődését (10.a. és b. ábra). A periférikus látómezőben kialakított megoldásnál ezt könnyebben bekövetkezhet (10.c. ábra).



a. b. c.
10. ábra Felvevő csatlakozócső elhelyezése vadászipülőgépeken [13]

Előnyök:

- csak a feltöltendő repülőgépnek szükséges manővereznie, a legnagyobb útirányú sebességkülönbséget tolerálja sérülésmentesen, (összekapcsoláskor ($\pm 1,5$ m/s), töltés közben $\pm 2,5$ m/s), így legrövidebb az összekapcsolódási manőver ideje;
- valamennyi eljárás közül a légi járművek összekapcsolt helyzetében egymáshoz képest, – az alkalmazott 26–28 m hosszú cső okán – a legnagyobb szabad elmozdulási lehetőséget biztosítja (~ 14 m);
- gyakorlatilag tetszőleges méretű és rendeltetésű (nem csak kizárólag töltő-) repülőgép használható tankerként (25. és 26. ábra);



11. ábra Helikopter géppár utántöltése hajlékony tömlővel [21]

- (az előzőek miatt) robotrepülőgépek (15. ábra) és - bár korábban ez deklarált hivatalos követelményként nem is jelent meg [19] – helikopterek légi utántöltésére is csak ilyen eljárás alkalmazható (11. ábra);



12. ábra Kiengedett utántöltő csövek [21]



13. ábra IL-78 Mirage géppárt tölt [22]

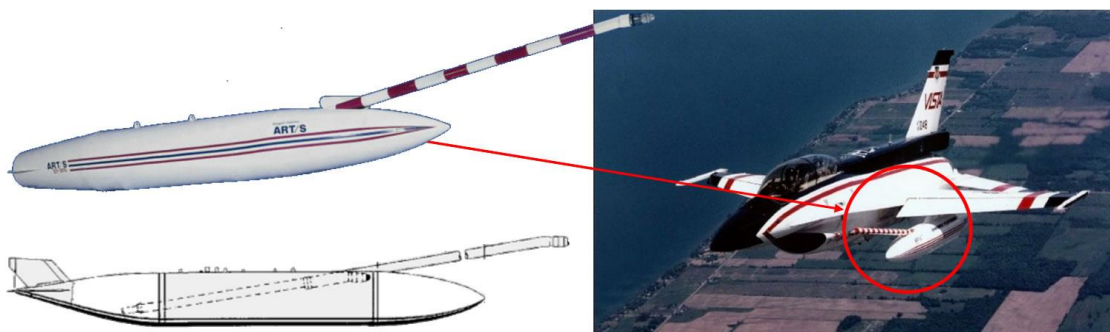
- egyidejűleg, egy tankerről több repülőeszköz is feltölthető, így egyik tömlő üzemképtelenné válása esetén is a töltő repülőgép még használható marad (11., 12., 13. ábra);
- az áttöltés a szárnyalatti konténerekből, akár a tanker fedélzeti energiaforrásainak felhasználása nélkül is megvalósítható (25. és 26. ábra).

Hátrányok:

- korlátozott töltő kapacitás (külső konténerről ~1700 l/min-ig, belső fedélzeti szivattyúval, túlnyomással 3000 l/min-ig, a töltőcső 48–52 mm-es belső átmérőjétől is függően);
- pulzálásra hajlamos;

2.2.1 Légiutántöltés speciális külső póttartály (ART/S POD) alkalmazásával

Mivel a légi utántöltés jelentősége a helyi háborúk tapasztalatai alapján is felértékelődött, fejlesztési kísérlet történt, az erre eredetileg alkalmatlan vadászpilóta gépek alkalmassá tételére, olcsó utómunkálatok segítségével, (vagy akár anélkül). A megoldás arra a – repülésbiztonsági megfontolású, egységesnek tekinthető – konstrukciós elvre épült, hogy a tüzelőanyag kifogyasztás mindig a külső függesztésű póttartály(ok)ból kezdődik, így az(ok) rövidebb idővel a felszállást követően kiürül(nek). Ezért, ha valamelyik szárny alatt elhelyezettre standard, - üzemben kívül esetleg bevonható - csatlakozócsövet szerelnek, az repülésközben egyszerűen utántölthető, sőt rajta keresztül némi rendszerátalakítással, a törzsben és/vagy szárnyban elhelyezett tartályok is [13].



14. ábra Légiutántöltést biztosító speciális szárnyalatti póttartály [13]

A több méretben, elkészült, – főként kevésbé tehető országokban is rendszeresített típusokat megcélzó – széria-gyártásra érett ART/S POD-ot bár megépítették és sikeresen ki is próbálták, végül egyetlen állam légierije sem rendszeresítette.

Hátránya e hatótávolságot növelő konstrukciónak, hogy használatakor csökken a maximális repülési sebesség és magasság, a manőverező-képesség, a hordozható fegyverzet mennyisége (bár a vészledobás lehetősége adott volt!), valamint növeli az üzemanyag-fogyasztást is.

2.2.2. Robotrepülőgépek légiutántöltése

A robotrepülőgépek légiutántöltése a legbonyolultabb manőverek egyike, melyre először 2014-ben került sor, a legnagyobb szabad térbeli elmozdulást lehetővé tevő hajlékonytömlős módszerrel (15. ábra). Valószínűsíthetően az elkövetkezőekben ennek fejlesztése lesz az egyik kiemelt program, mivel pl. az USNAVY (N-99 parancsnokság) perspektivikusan UAV-ékkal tervez több hetes/hónapos, rendszerszerű, leszállás nélküli repüléseket végrehajtani [30].

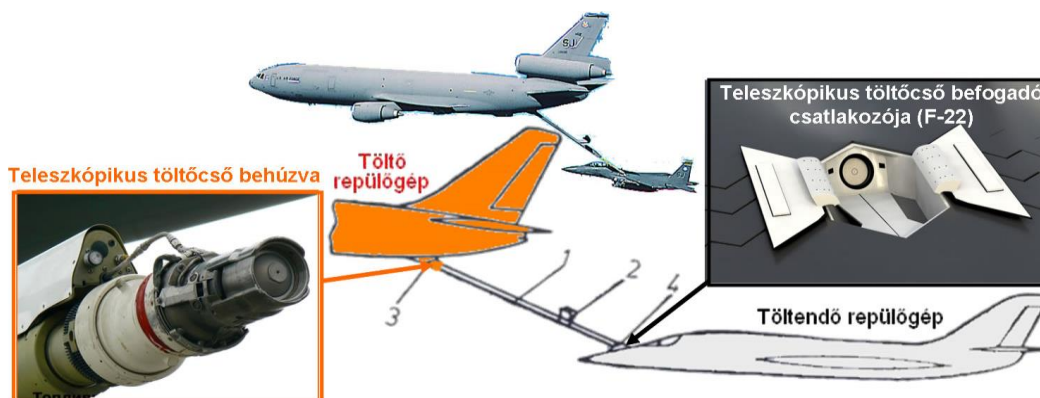
A légi utántöltés nehézségét és komplexitását az okozza, hogy tetszőleges napszakban, földrajzi, időjárási és klimatikus viszonyok között kell egy, a fedélzeten tartózkodó személyzet által vezetett repülőgéphez, kritikus közelségbe manőverezni egy automatikusan és/vagy távoli irányítóponthoz tartózkodó operátor által irányított légi járművet, az előírt közelítési eljárással és repülésbiztonsági mutatók betartásával. Ennek elvárt minőségű megvalósítása egyaránt kihívás és gyökeresen új, még megoldásra váró részleteket tartalmazó feladatot jelent a földi repülésirányítás [14], a korszerű, megbízható, fedélzeti irányító rendszereket és azok szenzorjait tervezők, üzemeltetők [2][3][5][18] számára. Nem kisebb jelentőségű feladat repülőorvosilag, pszichológiailag és pedagógiailag az ilyen típusú repülések során a hajózó személyzetet, valamint a földi operátorokat érő fokozott stressz-tényezők feltárása, feldolgozása [16][17], illetve erre, az érintettek szakavatott felkészítése [16][4].



15. ábra X-47 robotrepülőgép légi utántöltése [21]

2.3. Légi utántöltés a törzshöz csuklósan rögzített, merev, teleszkópikus csővel

E megoldásnál (16. ábra) a merev, ~20 m-es hosszúságig kitolható teleszkópikus csövet (1), csuklósan (3) erősítik a töltő repülőgéphez. A töltendő légi jármű megfelelő távolságra, magassági lépcsőzéssel megközelíti a töltőt. Ennek operátora, a teleszkópikus töltőcső (1) végét – a rajta lévő aerodinamikai kormányoszlopokkal (2) – a töltendő repülőgép befogadó csatlakozójához (4) irányítja (melyet üzemen kívüli rendszerint fedél takar) [13].



16. ábra Teleszkópikus csatlakozócsővel történő légi utántöltés [13]

Az eljárás **előnye** a nagy (3000–6000 l/min) (át-)szállítóképesség, amihez az alkalmazott túlnyomás is ($p_{\max}=3,6$ bar-ig) hozzájárul.

A módszer hátrányai:

- a rövidebb csőhossz miatt (max. 20 méter) a töltendő repülőgépnek jobban meg kell közelítenie a töltőt, mint a hajlékonytömlős eljárásnál ami fokozottan balesetveszélyes;
- csatlakozáskor a repülőgépek közötti sebességkülönbség ($\Delta v_{\max} \approx 0,3$ m/s) minimális lehet, ezt követően egymáshoz képest történő elmozdulásuk összekapcsolva viszonylag szűk tartományban – a cső (1) hosszának változtatásával, illetve kúp palástjának megfelelő, csukló (3) körüli elmozdulásával – történhet, lényegesen kisebb tartományban mint a hajlékonytömlős rendszerénél (pl. KC-135-nél előre-hátra max. 3,6 m-es tartományban, és v.ö. 22. ábra);
- a cső (1) vibrációra hajlamos, mozgásakor a tüzelőanyag nyomása ingadozhat benne;
- az áttöltéshez, a cső mozgatásához, a tanker fedélzeti energiaforrásai szükségesek;
- csak e célra épített, nagyméretű tanker repülőgép alkalmazhatja és az is egyidejűleg csak egyetlen repülőgépnek adhat át üzemanyagot. Helikopter nem tölthető fel így.

A csatlakozási manőver során, a töltő cső térbeli mozgatása megvalósítható az annak végén elhelyezett hagyományos magassági és oldalkormánylapokkal (17.a. ábra), illetve ún. pillangó (vagy „V”) vezérsíkokkal (17.b. ábra.)



17. ábra a teleszkópikus töltőcső mozgatására szolgáló külső aerodinamikai kormányzervek [13]

A töltőcsővel rendelkező merevszárnyú repülőgépek kiszolgálására (ld. 2.2. fejezet!) a teleszkópikus cső végére időlegesen felszerelhető, stabilizáló kúppal (ernyővel) ellátott rövid (3–4 m), hajlékonytömlős toldalék is (18. ábra).



18. ábra F-18E és V-22 légi utántöltése teleszkópikus töltőcsőre épített hajlékony tömlős kúppal [13]

2.5. Légiutántöltés hajóról, vízfelszíni feltöltő csatlakozóval

Tengerészeti felhasználású helikopterek tüzelőanyaggal történő utántöltése – a feladatuk jellegetől függően – repülés közben is megvalósítható, az ellátó hajóról, fedélzeti csörlővel felemelt, majd töltés végén oda visszaeresztett töltő csővel (19. ábra). Biztonsági megfontolásból töltés közben a helikopter nem tartózkodhat közvetlenül a hajó felett.



19. ábra Helikopter tüzelőanyaggal történő utántöltése repülés közben, hajófedélzetről [24]

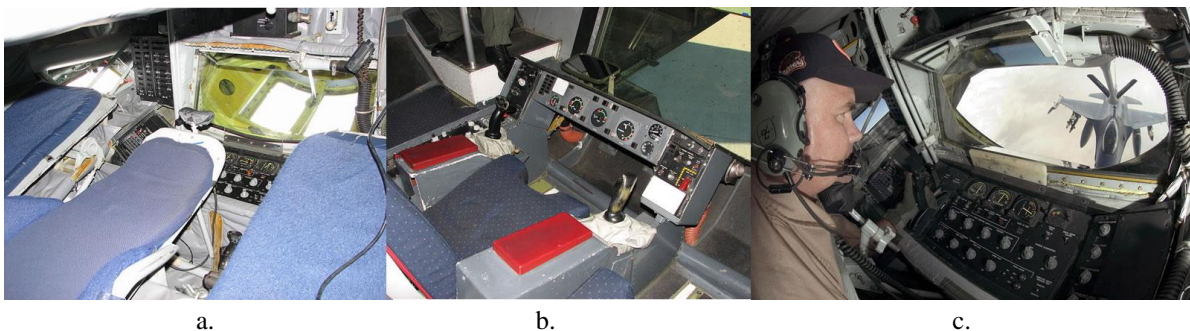
3. A LÉGIUTÁNTÖLTÉS ESZKÖZEI

Repülés közben a légijárművek tüzelőanyaggal történő utántöltése történhet:

- speciális töltő repülőgéppel (tankerrel) (pl. 12., 13., és 16. ábra);
- bármely olyan repülőgép fedélzeti tartályaiból, valamint külső függesztésű póttartályaiból, amelyet ellátnak megfelelő töltőkonténerrel (pl. 25. ábra);
- kizárólag helikopterek számára hajófedélzeti töltőcsővel is (19. ábra).

3.1. Tüzelőanyag utántöltő repülőgépek

Nagyteljesítményű töltő repülőgépet (tankert) rendszerint bevált, szériában készülő szállító repülőgépek átépítésével – teher és/vagy poggyász terükbe további tüzelőanyag tartályok beépítésével (pl. 31. ábra) – alakítanak ki (pl. B-707/737,747/767; DC-10; C-130, IL-76 stb.). Ezeknél a szállított üzemanyag mennyisége akár felszálló tömegük 60%-át is meghaladhatja, rájuk rendszerint 1–3 hajlékony tömlős, és egy teleszkópikus töltőcsatlakozót építenek (utóbbit az oroszok nem alkalmazzák). A tömlők kiengedését, behúzását, valamint a teleszkópikus cső irányítását a fedélzeten elhelyezett operátor(ok) végzi(k). Munkahelyüket vagy a repülőgéptörzs alján hátul – közvetlen szabadkilátást, vizuális tájékozódást biztosítva (20.c. ábra) – alakítják ki, vagy a repülőgépvezető fülkében, képernyők segítségével teszik lehetővé a távirányítást (22. és 23. ábra) (mint a jelenlegi egyik legkorszerűbb típusnál, a Boeing-767-2C-ből létrehozott a KC-46A-nál is [10]) (23. és 31. ábra).



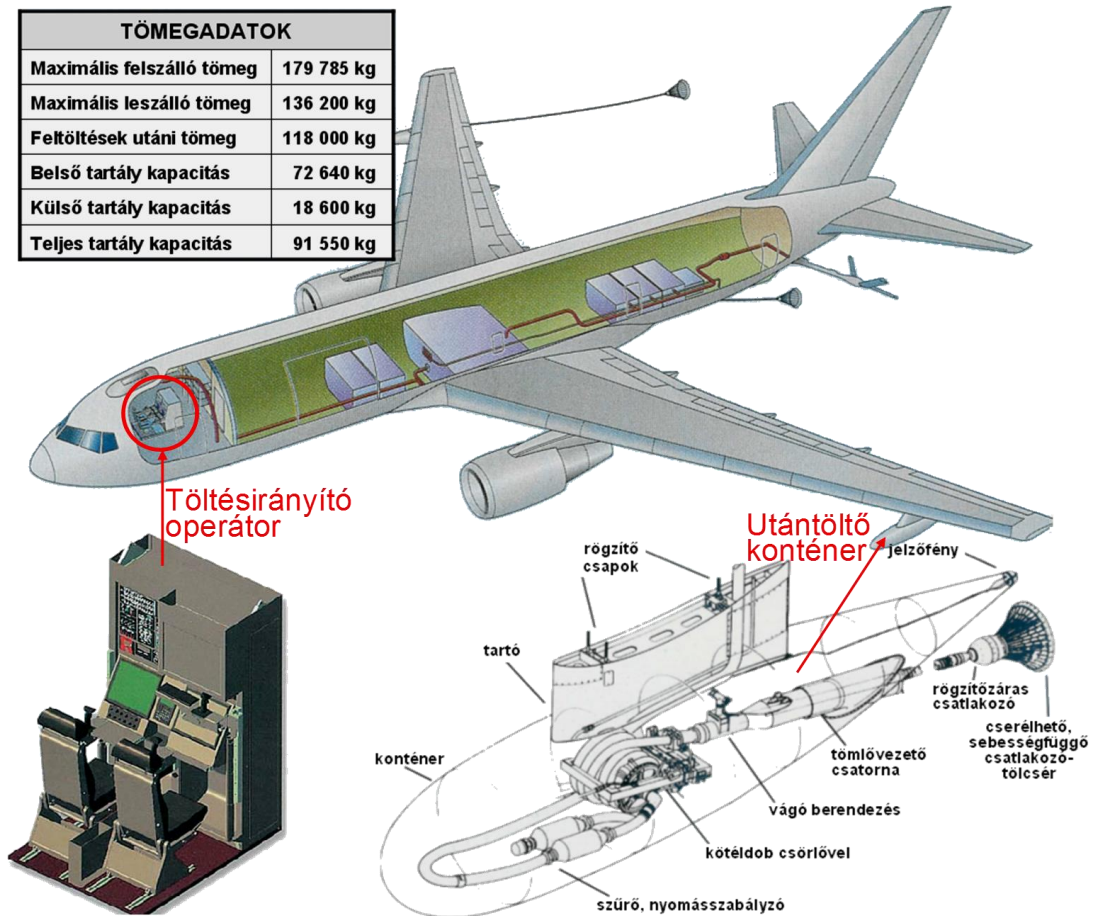
20. ábra Teleszkópikus töltőcsövet irányító operátorok fedélzeti elhelyezésének módjai és munkahelyük lehetséges kialakítása [13]

A törzsvég alsórészén elhelyezett fülkében az operátorok, munkájukat – repülőgép típusonként változóan – hason fekve (20. a. ábra), vagy ülő helyzetben végézik (20. b. és c. ábrák).



21. ábra Töltőoperátor multispektrális kamerarendszere [24]; 22. ábra Töltőcső státuszát mutató display [8]

A töltőoperátor napszaktól és időjárási viszonyoktól független biztonságos tevékenységét, a repülőgép-törzs alján elhelyezett, a teljes töltési zónát és periferiáit leképezni képes multi-spektrális kamerarendszer is segítheti (21. ábra). Ezek számítógéppel feljavított, valószerű, integrált virtuális képei, a biztonságos töltéshez szükséges információkkal, – benne a töltőcső térbeli státuszával, a megengedett kitérítettség határainak jelzésével – megjelenik a töltésirányító operátor előtti képernyőn (22. és 23. ábra).



23. ábra Korszerű üzemanyag-utántöltő repülőgép kialakítási sajátosságai [13]

A teleszkópikus töltőcsövek mozgatásához, a szivattyúk, a jégtelenítő rendszer, a helyzetfények, kormánylapok működtetéséhez szükséges energiát a fedélzeti hidraulikus és elektromos rendszerek biztosítják.



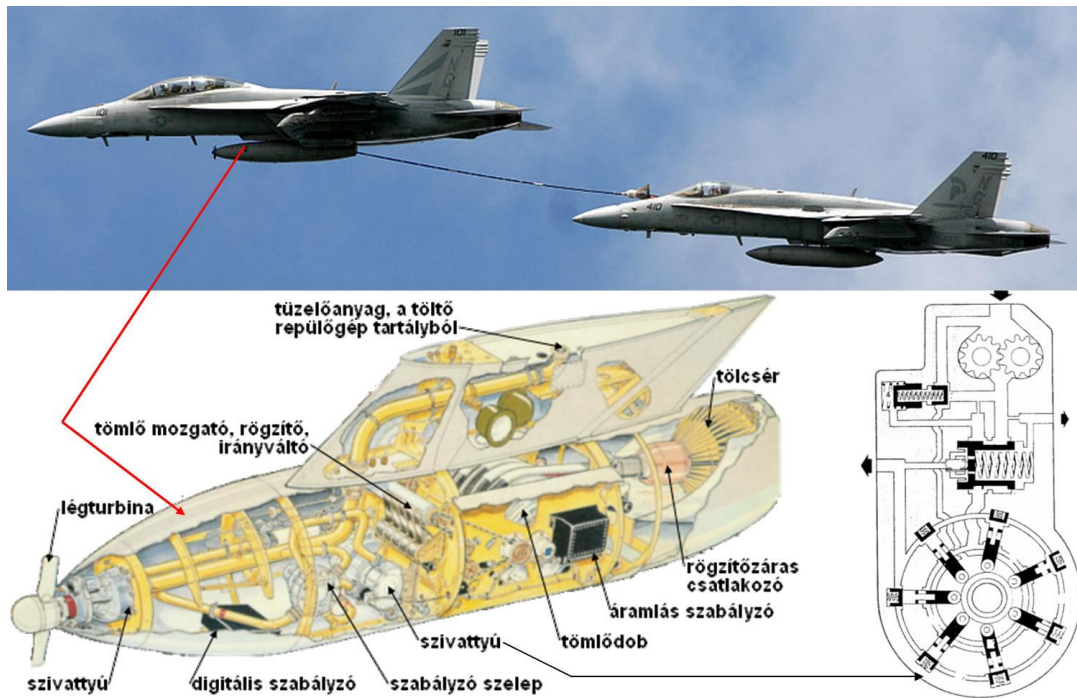
24. ábra Töltő repülőgép törzse alatti tájékoztató jelölés és irányító fény sorok [20]

A teleszkópikus csővel feltöltendő repülőgép személyzetének, helyes térbeli pozicionálását segíti a tanker törzsének aljára festett, annak középvonalát jelölő sárga vonal, illetve a szükséges irányítási korrekciókra, az e vonal két oldalán, a törzs mellső részén elhelyezett, nappal és éjjel egyaránt jól látható, két színes világító irányító fény sorok (24. ábra) utasít (a baloldali magasság helyesbítésére, a jobb oldali pedig az előre-hátra mozgásra). Sötétben, csatlakozási manőverhez a hajózók nem használnak éjjellátó készüléket (NVG), ilyenkor a vizuális tájékozódást, a tanker belső hajtómű gondoláin elhelyezett, oldalirányban világító lámpák is segítik.

3.1. Tüzelőanyag áttöltés biztonságos végrehajtását biztosító berendezések

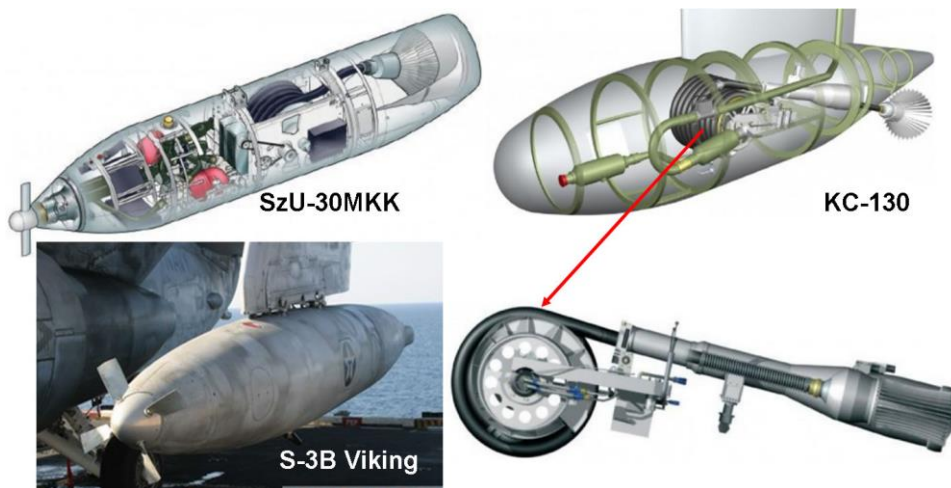
A hajlékony tömlővel, történő üzemanyag utántöltés megvalósítható fedélzeti energia felhasználása nélkül is, speciális töltőkonténer alkalmazásával (25. ábra), aminek különösen nem tankerről történő tüzelőanyag áttöltésnél van jelentősége(!) (26.a. ábra). Ilyenkor a szivattyú és/vagy a tömlődob működtetése, a torló-levegő segítségével meghajtott légturbiná(k)val biztosítható. Utóbbiakat és így a szivattyú(k) maximális szállítóképességű működését a csatlakozási manőverre számított repülési sebességre és magasságra optimalizálják.

A légturbinák általában egy vagy kétfokozatú fogaskerékes és/vagy radiális, bolygó dugattyús üzemanyag-szivattyúkat forgatnak, a szükséges nyomásnövekedés határoló, illetve biztonsági megkerülő szelepekkel kiegészítve (25. ábra). A repülőgép fedélzeti rendszeritől származó minimális külső energiaigény, rendszerint csak a műszerek, jelzőfények és a jégtelenítő működtetésére szolgál.



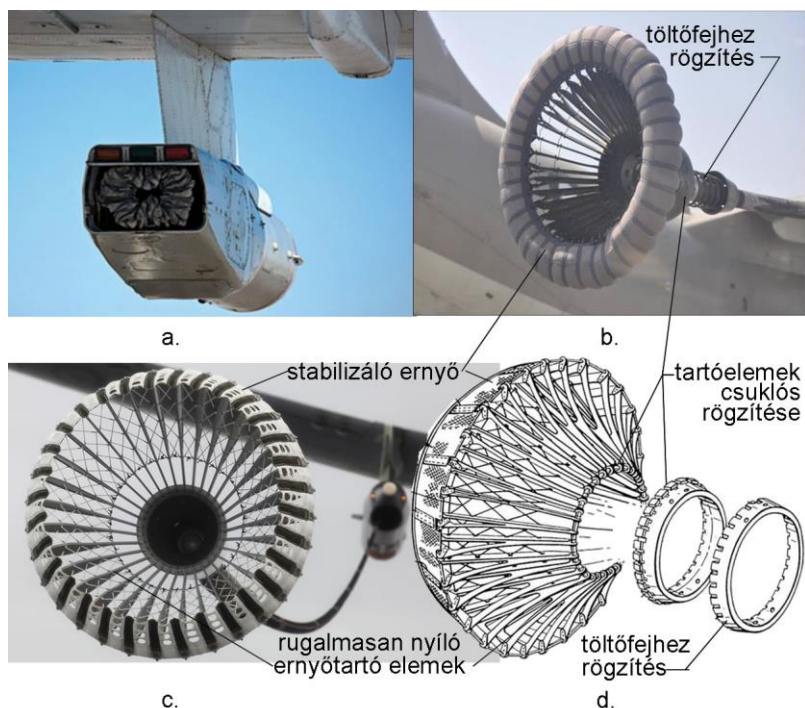
25. ábra Töltőkonténer elhelyezése és szerkezeti felépítése [13]

A töltőkonténer szerkezeti kialakítása és működési elve rendszerint gyártótól függetlenül közel azonos (26. ábra). Nagy tanker-repülőgépekhez (pl. KC-130, IL-78 stb.) azonban rendszerezettek olyan konténereket is, amelyeknél a tüzelőanyag szivattyú, illetve a tömlő csörldobjának mozgatása a repülőgép fedélzeti energiarendszeréről történik, (vagy annak része!) így természetesen nagyobb átszállítási kapacitás is biztosítható (3000 l/min-ig).



26. ábra Töltőkonténerek és a tömlő csörldője behúzott kúppal [13]

A biztonságos összekapcsolódási manőver végrehajtásához elengedhetetlen a töltőcső végén elhelyezett csatlakozó elem térbeli helyzetének stabilizálása (8. ábra 2. és 4. elem). Ennek bevált eszköze a cső végén – a konténerben még zárt helyzetben lévő stabilizáló felület (ernyő) (27.a. ábra) – rugalmas tartóelemeinek kinyílása kúppalást-alakzatba és a végükre rögzített stabilizáló, fékező felület(ernyő) üzemi helyzetbe feszítése (27.b.c.d. ábrák).



27. ábra Hajlékonytömlő elhelyezésére szolgáló konténer és áramvonalazó kúpok [13]

A kúp töltőrepülőgép fülkeüvegezéséhez, vagy törzséhez történő véletlen ütközése hatásának, mérséklésére (v.ö. 10. ábra!), annak legnagyobb átmérőjű zónájában rugalmas energiaelnyelő peremet alakítanak ki (27. b. és c. ábra).

3.2. A légiutántöltés jelentősége a korszerű hadviselésben

A légijárművek tüzelőanyaggal történő légi utántöltésének és benne a tankerek szerepe számottevően megnövekedett napjaink regionális hadműveleteiben is. Mi sem bizonyítja ezt jobban, mint pl. az USA, saját és szövetségesi afganisztáni műveleteinek támogatására, egy légi utántöltő ezredet telepített, 14–15 db. KC-135R tanker-repülőgéppel Kirgizisztánba (28. ábra). Tevékenységük néhány jellemzője [13]:

- a folyamatos feladatellátáshoz a bázison – jelentős részében mobil, rugalmas falú tartályokból álló, alkalmi – 14 millió literes tartály- és ciszternarendszert alakítottak ki;
- naponta 240–450 t üzemanyagot töltöttek át a hadműveletekben résztvevő légi-járművekbe;
- 2011-ben, 4786 felszállást végrehajtva, 24 114 repülőgépnek, összesen ~547 millió liter, (~441 ezer tonna) kerozint adtak át;
- a töltő repülőgépek egyidejűleg, kombinált adatátjátszóként (reléként), járulékosan biztosították a hadműveletekben résztvevő többi repülőeszköz, valamint a szárazföldi csapatok információval történő ellátását is;
- a tüzelőanyag depó „mindenidős” biztonságos működését megerősített szárazföldi és légvédelmi rendszerekkel, valamint tűzoltó szolgálattal biztosították;
- körültekintő figyelmet követelt (és napjainkban is követel!) a légiutántöltéssel végrehajtott hadműveleti repülések – ezen alkalmazás sajátosságát is figyelembevevő – felelős, megalapozott meteorológiai biztosítása is [21];



28. ábra Ideiglenes hadműveleti üzemanyag telephelye, NATO tankerek kiszolgálására [10]

A légi utántöltés rendkívüli fontossága miatt nagy súlyt fektetnek valamennyi módszer és eljárás fejlesztésére, a kockázati tényezők csökkentésére. Ilyenek például:

- a töltők navigációs rendszereinek integrálásával (döntően GPS, hagyományos, lézer- és infralokátorok adatai), illetve a töltő és töltendő repülőgépek között időleges adat-kapcsolat létesítésével, a csatlakozási manőver gyorsítása, pontosítása és látási viszonyoktól való fokozott függetlenítése;
- az átszállító- és befogadó-kapacitás jelentős növelésével a csatlakozási idő számottevő csökkentése;
- minél több katonai helikopter alkalmassá tétele légi utántöltésre;
- hadműveleti lehetőségek kiszélesítésére növelni a töltő és töltendő funkció egyaránt alkalmas légijárművek számát. Ezek szükség szerint akár egy repülés során, egymást követően is alkalmazhatják ezt (29. ábra).



29. ábra Láncutántöltés azonos repülőgép típusokkal [15]

- az önvédelmi képességek javítására fontos feladat a töltő repülőgép hatásos rádió-lokátor visszaverő felületének csökkentése, illetve az infravörös passzív önirányítású rakéták elhárítására szolgáló – akár utólagosan felszerelhető –, multispektrális, lézeres (pl. ún. MUSIC®/C-MUSICTM) rendszerekkel [6];

- a váltakozó légiutántöltési igények rugalmas kielégítésének egyik bevált, költség-hatékony módszere, az alkalmazó hadseregekben rendszeresített szállító repülőgépek időleges átalakítása tanker funkciókra. Ennek során, a rendszeresített nagykapacitású tartály(ok) törzshöz csatolását biztosító előbeépítéseket a tehertér padló standard rögzítő csomópontjaihoz erősítik, a rendszeresített csapokkal, majd ezekre kapcsolják rá a tartály(oka)t (30. ábra). A szárnyon és/vagy a törzsön elhelyezett utántöltő konténerek ellátást biztosító csővezetéseket, szelepeket és vezérlő és biztosító elemeket rendszerint már előzőleg gyárilag, esetleg utómunkálatok során beépítik a repülőgépbe.



30. ábra Utántöltő tartály beemelése és elhelyezése, rögzítése a törzsben [23]



31. ábra KC-46A alkalmazási változatai [11]

E légijárművek létrehozásánál rendszerint meghatározó gazdaságossági-hatékonysági kritérium, hogy – mivel tankerként történő tömeges alkalmazásukra az igény váltakozó, így lehetőség szerint – egyszerű, repülőtéren történő átépítéssel – vegyes felhasználóságúra alakítsák ki azokat. Ennek jegyében készült el a jelenleg legkorszerűbb, Boeing 767-200-ból létrehozott KC-46A légiutántöltő repülőgép is, melynek alkalmazási változatai a 31. ábrán láthatók. A felsorolt lehetőségek akár a tankerfunkcióval együttesen, – a szabad terhelhetőségtől függő mértékben – is megvalósulhatnak.

Megjegyzés: az először 2014-ben repült KC-46A repülőgépből 2017-re 18 db-ot, 2027-re 179 db-ot kívánnak legyártani.

3.3. A hadrendben álló töltő repülőgépek harcászati-műszaki jellemzői

Az alapvetően polgári szállító repülőgépekből átalakított tanker repülőgépek közös szerkezeti sajátossága hogy az utántöltésre szolgáló tartályaikat a törzsön belül teherterükbe és/vagy annak padlózat alatt helyezik el (23. és 31. ábra).

A törzs hossz tengelye mentén elhelyezett tartályokból, repülés közben az intenzív áttöltés következtében változó nagy üzemanyag-terhelés miatt – a stabilitást és kormányozhatóságot meghatározó állandó súlyponti helyzet biztosítására – figyelmet kell fordítani a kifogyasztás sorrendjének e célnak megfelelő programozására is.

Vizsgált jellemző	Töltő repülőgép típusa							Tervezett átalakítások			
	IL-78	KC-135R	KC-97L	KC-130F	Tristar K-1	Victor K-2	KC-10A	Boeing B-747	A-300B	C-160	KC-46 (2016-tól)
Személyzet [fő]	6+7	4	5	5	5	5	5	5+7	4+6	4+5	3
Repülőgép tömege [t]											
- üres		54	38,7	36,5	110	33,5	109	170	n.a.	30	82,4
- maximális felszálló	190	146	79,5	70,3	245	101,2	268	400	170	51	188,2
Áttölthető tüzelőanyag [t]	65 36	50 43	26	22 14	35	18	86	115	46	3	94
Táv megtétele után [km]	1000 2500	3700 4500	n.a.	900 1600	6500	3200	4800	6500	1850	800	
Töltőhely: cső/tömlő [db.]	- / 3	1 / 3	- / 3	- / 3	- / 3	- / 3	1 / 3	1 / 3	1 / 3		1 / 3
Áttöltés intenzitás [l/perc]	2300÷2900	4500/1590		- / 1250	- / 2300		5680/1600	5700/1600			4500/
Max. rep. seb. [km/h]	920	940	600	600	1000	1040	M<1	M<1	600	540	915
(Rep. magasságon [km])		(9,15)	(7,6)	(6,1)	(14)	(12,2)	(n.a.)	(n.a.)	(4,5)	(4,5)	
Gyak. rep. csúcsmagasság [km]	13	12	10,7	7	13,8	16,8	12				12,2
Maximális rep. távolság [km]		7000	6900	7560	6500	9600				4600	12200
Hajtómű db. x típus (1 db. tolóereje [dN])	4x2GTH 12000	4xGTH (6420)	4xDM (3500) ¹	4xLGTH (4050) ¹	3x2GTH (22650)	4xGTH (9350)	4x2GTH (23800)	4x2GTH (24500)	4x2GTH (22200)	2xLGTH (5670) ¹	2x2GTH 28200
Repülőgép geometriai méretei											
- hossz [m]	46,59	41,5	33,6	29,8	50	35,1	55,4	70,5	53,5	32,4	50,5
- magasság [m]		11,7	11,7	11,7	16,9	8,6	17,7	19,3	16,5	11,7	15,9
- szárny fesztávolság [m]	50,50	39,9	43,05	40,4	50,1	35,7	50,4	59,6	44,8	40,4	48,1
- szárnyfelület [m ²]	300,0	226,0	164,2	162,1	330	204,4	339	511,0	260	160,1	283,3

Rövidítések: GTH - gázturbinás sugárhajtómű;
2GTH - kétáramú gázturbinás sugárhajtómű;
LGTH - légsaváros gázturbinás hajtómű;
DM - dugattyús motoros hajtómű
1 - teljesítmény LE-ben

1. táblázat (saját összeállítás [11][23][24][31] alapján)

A jelenleg is nagyobb számban alkalmazott töltőrepülőgépek fontosabb harcászati-műszaki jellemzőiről az 1. táblázat nyújt tájékoztatást.

3.4. Harcászati követelmények légiutántöltésének biztosítása

Nagyobb követelmények légiutántöltésének megszervezése különösen körültekintő logisztikai, repülőműszaki és repülésirányítási tervezést igényel. Ennek előkészítésekor, –a bőséges tapasztalatok alapján, az előzetes számításokhoz – reális kiinduló adat, hogy az egyik legelterjedtebb KC-

135 tanker, egy felszállása során a csapásmérő repülőgépek harccsoportjából 4 db-ot, míg más rendeltetésű légi járművekből 6–8 db-ot képes üzemanyaggal ellátni [32].

A légiutántöltést rendszerint az alábbi módozatok valamelyikével hajtják végre:

- amennyiben a körzetben nincs az utántöltő repülőgépek állomásoztatására alkalmas repülőtér, a tankerek számára várakozási légtérrel jelölnék ki a (rendszerint) harcászati vadászrepülőgépek útvonalán, az ellenséges légtérbe történő belépés előtti és/vagy kilépés utáni, saját légvédelemmel megfelelően biztosított zónában. Az eljárás hátránya a tankerek esetenként viszonylag hosszú, saját várakozási repülési ideje (fogyasztása) miatt, az átadható tüzelőanyag mennyisége a legkevesebb;
- amennyiben a légiutántöltő repülőgépek bázisrepülőtere közel van az utántöltendő repülőgépek útvonalához és utóbbiak fegyverzeti terhelése és alkalmazási intenzitás is nagy, a felszálló tankerek az várakozási légtérből, szükség szerint, „rendelésre” repülnek a feladat során megjelölt találkozási zónába;
- olyan esetben amikor biztonsággal tervezhető a nagy harcászati terhelést hordozó repülőgépek útvonala és alkalmazási intenzitása, a felszállásuk időpontját szigorúan koordinálják a tankerekével és a találkozásuk, valamint összekapcsolódásuk pontosan az előre meghatározott légtér adott helyén és időpontban történik meg.

Légi járművenként egy út során többszöri légi utántöltést igénylő (pl. interkontinentális) feladatok végrehajtásakor a felsorolt módszerek – a körülményektől függően – akár vegyesen is alkalmazhatóak.

Az utántöltéshez az összekapcsolódás rendszerint $H = 6000\text{--}10\,000$ m repülési magasságon, 430–450 km/h repülési sebesség mellett történik. Ehhez szükséges a légi járművek és/vagy a földi irányítás, valamint repülőgépek közötti rádiókapcsolat, illetve a megfelelő – lehetőleg kölcsönös – láthatóság. A kúpba végződő hajlékonytömlős eljárásnál, az összekapcsolódáshoz (szelepnyitáshoz, ld. 8. ábra, 5. elem) és a töltőcső rögzítéshez szükséges sebességkülönbség 3,5–9 km/h. Ennek megtörténtét követően a töltendő repülőgépnek sebességét a töltővel azonosra kell csökkentenie, a megegyező repülési irány és magasságkülönbség stabilizálásával.

A szükséges utántöltő repülőgépek számának meghatározásához az áttöltésre váró légi járművek típusát, darabszámát és a feladat jellegét szükséges ismerni. Az eddigi nagyszámú tapasztalatok alapján, – KC-135-ös tankert alapul véve, az előírással, megszakadás nélküli összekapcsolódással – egy harcászati vadászrepülőgép utántöltése 6–6,5 percet igényel. Ebből a (közel-) közelítésre, összekapcsolódásra 1–1,5 perc, az üzemanyag átadására ~4 perc, míg a szétcsatlakozásra és kiválásra rendszerint ~1 perc elegendő. Eközben a repülőgépek 8000 m-es repülési magasságon 430–450 km/h repülési sebességgel, 45–65 km-es távolságot tesznek meg.

A teleszkópikus csővel történő töltőmanőverkor a közelítés és csatlakozás rendszerint lényegesen körülményesebb és lassúbb [32].

Az elhibázott közelítés, megszakított, majd újratekintett légiutántöltés a közvetlen résztvevőkre rendszerint nem jelent veszélyt, de a sorban utána következők – különösen az utolsó – számára kedvezőtlen lehet a saját megnövekedett fogyasztása, az időközben a tankerben szükségeshez képest esetlegesen lecsökkent áttölthető mennyiség, illetve emiatt a késés, vagy kényszerű feladat megszakítás miatt.

3.5. A légiutántöltés humán feltétel rendszere

Mivel a légiutántöltés bonyolult művelet, balesetmentes végrehajtása még gyakorlott személyzet számára is speciális, nemzetközi normákban rögzített felkészítést igényel. A megszerzett jártasságok és készségek fenntartása – meghatározott tárgyi feltételrendszer meglétét is feltételező (kiképzési segédeszközök, szimulátorok stb.) – folyamatos gyakorlást, ellenőrzést tesz szükségessé [8].

A műszaki kiszolgáló és a hajózó állomány felkészítése külön 15–25 órás szaktanfolyamon történik, melynek része a gyakoroltatás is. Utóbbit a műszakiak általában az adott repülőgépen, a hajózó állomány (repülőgépvezetők és töltő operátorok) lehetőleg típus-specifikus szimulátoron kezdi (32. ábra), majd a valós repülőgépen, oktató irányításával folytatja.



32. ábra Műszaki és hajózó állomány földi felkészítése légiutántöltésre, gyakorló eszközökkel [8][28]

Az eredményes vizsgát követő jogosultság fenntartása folyamatos, egymást követő időciklusokban adott számú tényleges légiutántöltés végrehajtását feltételezi (pl. félévenként 3 alkalom, úgy, hogy ezek közül legalább egyik éjjel történik).

4. A LÉGIUTÁNTÖLTÉS PERSPEKTÍVÁI

4.1. Polgári, közforgalmú repülőgépek légi utántöltése

Világviszonylatban a polgári légitársaságokra nyomás nehezedik az olcsóbb, gyorsabb, környezetkímélőbb légi szállítás megvalósításáért, miközben általuk évente szállított utasok száma növekszik, 2010-re elérte az évi hárommilliárdot. Ráadásul ez a Nemzetközi Légi Szállítási

Szövetség (International Air Transport Association– IATA) prognózisa szerint, a jelenlegi trendek alapján 2020-ra a nagy nemzetközi csomóponti repülőterek – beleértve pl. London Heathrow-t, Amsterdam Schiphol-t, Pekinget és Dubai-t is – fogadási és utasforgalmi kapacitása, az addigra bekövetkező növekedést már nem lesz képes kezelni. Az is egyértelművé vált, hogy e kérdés forgalmi oldalról, a legtöbb helyen nem kezelhető a kifutópályák számának és/vagy az utas terminálok befogadó-átbocsájtó képességének növelésével. Ez, a bővítésre rendelkezésre álló helyek hiányán kívül, az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások miatt sem járható út [7]. Repülésmeteorológiai kutatások szerint a klímaváltozás is kedvezőtlenül hat a távolsági légijáratok üzemanyag fogyasztására [9].



33. ábra Polgári utasszállító repülőgépek légi utántöltése [7]

E kérdéskör komplex vizsgálatára és a probléma megoldására 2011-ben meghirdették a Research on a Cruiser-Enabled Air Transport Environment (Recreate) elnevezésű projektet. Ennek már a kutatás első fázisát követően az egyik legfontosabb ajánlása az volt, hogy elengedhetetlen az utasszállító repülőgépek légi utántöltési lehetőségének megteremtése (33. ábra), mindenekelőtt hosszú távú útvonalakon [7]. E megállapítás helyességét igazolja az is, hogy az orosz Központi Aerohidrodinamikai Intézet (CAGI, ЦАГИ – Центральный Аэрогидродинамический Институт) hasonló célú átfogó vizsgálati is ezzel megegyező következtetésekre jutottak [25].

A Recreate projekt keretében, valamint a CAGI által folytatott vizsgálatok egybehangzóan azt mutatták, hogy a legkorszerűbb, nagy-hatótávolságú ún. nehéz szállító-repülőgépek (pl. Boeing-747/777/787, A-340, A-380 stb.) üzemeltetésének gazdaságossága, környezetszennyezési jellemzői nagymértékben javíthatók, különösen a 10 000 km-t meghaladó, közbelső leszállás nélküli repülési távolságokon.

A CAGI számításai szerint pl. egy A-380-as 15 000 km-es távolságú leszállás nélküli repüléséért dupla tömegű kerozin felhasználással kell fizetni [26]. Azaz 100 tonna feltöltött üzemanyagból 50 tonna az „ára” a megszakítás nélküli repülésnek (az erre szolgáló kerozin „cipelésének”). Abban az esetben, ha ezeket a nagy hatótávolságú, óriás repülőgépeket fokozatosan kisebb, olcsóbb, de légiutántöltési lehetőséggel rendelkezőkre cserélnék, – a lényegesen lecsökkent levegő és zajszennyezés mellett – Földünk repülőtársaságainak légi járatain 300–400 milliárd USD megtakarítást lehetne elérni 2028-ig. Csak ez, évente ~40 millió tonnával csökkentené a repülésben felhasznált tüzelőanyag mennyiségét és ezzel arányosan a károsanyag kibocsájtást is. Ezt, egyetlen A-380-asra vetítve, – amennyiben az egy 15 000 km-es újtára csak 8000 km

megettételére elégséges üzemanyaggal indulna el és a hiányzó mennyiséget útközben, légiutántöltéssel pótolná – 30%-os költségcsökkenés lenne elérhető [26].

Az angol és amerikai kutatóintézetek is két területre, a környezetszennyezés jelentős mérséklésére és a hosszú távú repülések gazdaságosságára összpontosították vizsgálataikat [7]. Megállapításaik szerint csak azzal, hogy azonos korszerűségű, de kisebb tömegű repülőgépeket alkalmaznak:

- a fel-/leszálláshoz rövidebb kifutópályák is elégségesek így – tehermentesíthetők a nagy központi légikikötők – regionális repülőterek is bevonhatók a nagytávolságú útvonalak kiszolgálásába;
- csökkenthető a zajterhelés és a légszennyezés.

Csak ezek eredményeként is ~11%-os üzemanyag fogyasztás csökkenést prognosztizáltak [7].

A további gazdaságossági számításokhoz ~250 személyt szállító repülőgépet vettek figyelembe London – Honkong, ~11 000 km hosszú útvonalon [7]. Eredményül azt kapták, hogy ezen a repülési távolságon – egy légiutántöltés beiktatásával – 23%-kal csökkenthetőek a költségek, a tanker(ek) üzemköltségeit is figyelembe véve.

A kutatások további fontos megállapítása, hogy világviszonylatban ki kell építeni polgári légiutántöltés rendszerét, bázisaiul lehetőleg nem a forgalmas, lakott települések közelében elhelyezkedő repülőtereket használva. Bár a hajlékony tömlővel és/vagy teleszkópikus csővel történő üzemanyag-átadás módszereinek jelenleg nincs ismert alternatívája, elengedhetetlen létrehozni ezeknek magas biztonságossággal gyorsan, automatizáltan végrehajtható, „mindenidős” változatát. Ugyancsak fontos, – már a tervezett nagyszámú légiutántöltés végrehajtásának előkészítése során – a szükséges logisztikai, repülésirányítási és meteorológiai biztosítás módozatainak gondos kimunkálása, a már létező katonai tapasztalatok adaptálásával [21].

A hálózat világviszonylatban történő kiépítésének horribilis költségvonzatán túl, megalapozottan további kihívásnak tűnik a szolgáltatásba bekapcsolódni kívánó konkurens olajtársaság viaskodásán úrrá lenni, valami a pilóták jelentős hányadának – de vélhetően az utasok egy részének is – az eljárással szembeni idegenkedésének leküzdése.

4.2. Alternatív üzemanyagokkal működő repülőgépek légi utántöltése

Mivel az alternatív üzemanyagokkal működő repülőgépek jelenleg még csak kísérleti stádiumban léteznek, légi utántöltésük technikai lehetőségének feltárása természetesen még úgy is alig. Ami már ismert, hogy a jelenlegi, gázturbinás hajtóművel rendelkező polgári és katonai repülőgépek hagyományos *üzemanyagát* is egyre nagyobb arányba *adalékolják* különböző biomaszszákból és szintetikus vegyületekből álló komponensekkel. Ezek légi utántöltése maradéktalanul megegyezik az előzőekben bemutatottakkal [12].

A cseppfolyósított gázokkal üzemelő légi járművek közül a hidrogénnel történő feltöltés (leszívás) különbözik a benzinnel és kerozinnal üzemelő rendszerekétől. Ennek oka, hogy pl. a leginkább preferált a H₂, csak mindössze $\Delta t = 9$ °C-os hőmérséklet tartományban – (–253)–(–262) °C között – létezhet cseppfolyós állapotban (LH₂!). A földi feltöltéssel analóg módon, a tanker töltő berendezése is hermetikusan és hőszigetelten kell csatlakozzon a repülőgéphez. Az áttöltés megkezdése előtt a töltő saját semleges gázrendszeréből héliummal átfúvatja az összekötő csöveket és csatlakozókat, megelőzendő a repülőgép tüzelőanyag-rendszerébe a levegő, O₂ tartalmának

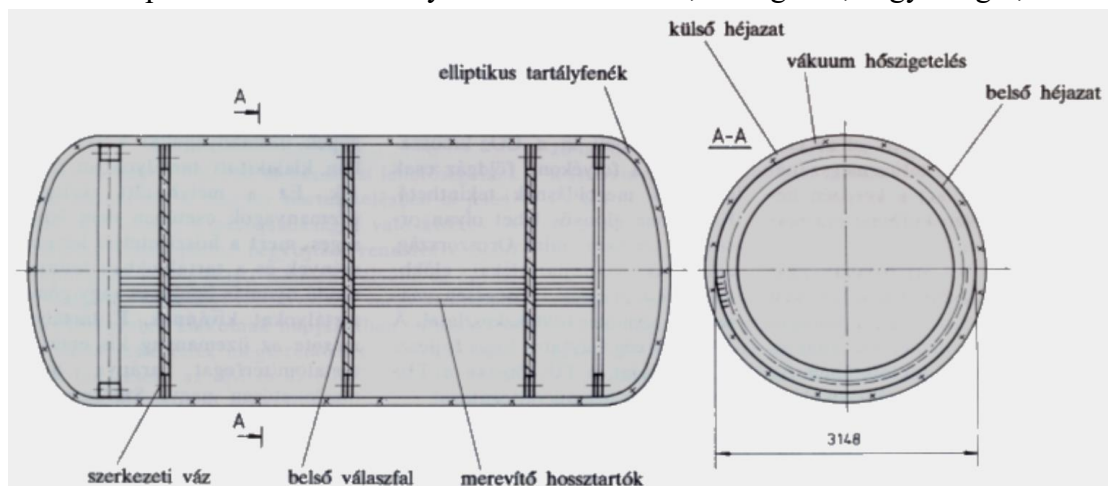
bekerülését. [12]. Amikor a feltöltött vagy töltőrepülőgép nincs a repülőtéri táprendszerre csatlakozva, a tüzelőanyag-tartályok biztosító szelepei lehetővé teszik a felmelegedett, gáz-halmazállapotúvá vált H_2 távozását a szabadba.

A metán esetleges alkalmazása hasonló nehézségekkel jár mint a hidrogéné, viszont a propán, bután repülőtéri tárolása, szállítása, szivattyúzása és vélelmezhetően légi utántöltése nem jelent különösebb technikai kihívást [ld. 12].

4.2.1. Alacsony hőmérsékletű kriogén repülő-üzemanyagok hatása a tüzelőanyag rendszer és a sárkányszerkezet kialakítására

A cseppfolyósított gázok tárolása alacsony hőmérsékleten és/vagy magas nyomáson történik. Így az erre alkalmas tartály (34. ábra):

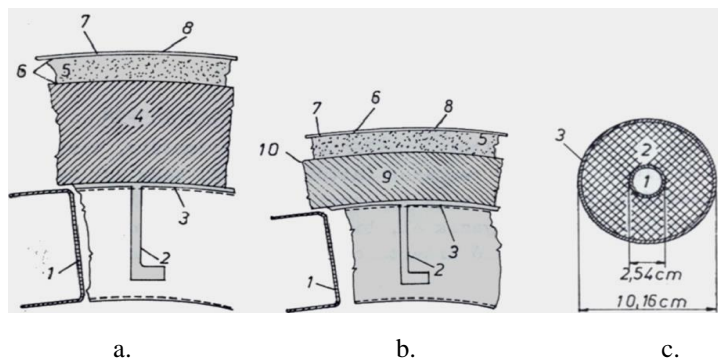
- lényegesen szilárdabb konstrukció, mint a hagyományos kerozint tároló. A benne fellépő, esetenként jelentős nyomáskülönbségek elviselését az alacsony hőmérsékleteken ($t < -100\text{ °C}$) bekövetkező szerkezeti anyag ridegedése tovább nehezíti;
- $\Delta p > 3$ bar túlnyomás esetén tartályformaként nem alkalmazható a sárkány szabad belső tereit optimálisan kitöltő bonyolult térbeli alakzat, csak gömb, vagy henger;



34. ábra Hideg, megnövelt nyomású, kriogén gáztárolására szolgáló tartály [12]

- a cseppfolyósított gáz alacsony hőmérsékletének fenntartására a falakat vastag hőszigetelő réteggel (rétegekkel) kell bevonni, illetve párolgásának (térfogat növekedésének) megakadályozására többnyire aktív hőszigetelést is szükséges alkalmazni. Utóbbi működtetése rendszerint járulékos energia felhasználást is igényel.

A cseppfolyósított gázok tárolására szolgáló tartályok hőszigetelésére kétféle megoldású hőszigetelés mutatkozik alkalmazhatónak és továbbfejleszhetőnek (35. ábra). Mindkettő esetében falukat (3) keretszerkezethez (1) rögzítik és hosszmerevítőkkal (2) erősítik.



35. ábra Kriogén üzemanyagot tároló tartály és cső hőszigetelése [12]

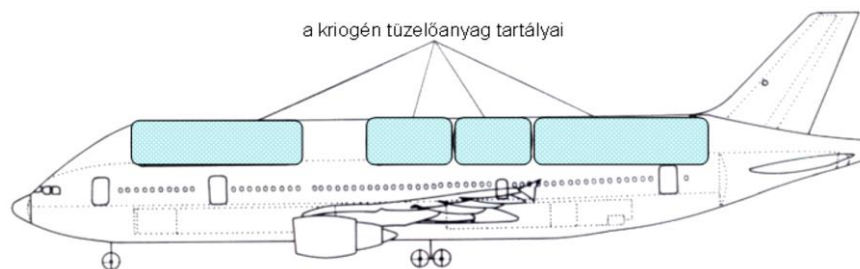
A vastosabb, súlyosabb konstrukciót eredményező megoldásnál (35. a. ábra) a tartály falára széles, zárt pórusú fenoplaszt réteget (4) rögzítenek. Ebben a 0,127 mm vastagságú, többrétegű alumíniumszálas szövetrétegek (MAAMF) (6) között hajlékony, porózus fenoplaszt (5) található, amit réteges kevlar bevonat (7) fed, amit viszont már a törzs borítása (8) követ. A hőszigetelés hatásfokának javítására a porózus hőszigetelő rétegbe N_2 gázt vezetnek (amiből, számítások szerint 90 kg felhasználása szükséges, 9000 km megtételéhez!).

A drágább, könnyebb és vékonyabb (~28 mm) kialakításnál (35 b. ábra) hőszigetelőként vákuumot (9) ($p \approx 13$ Pa) alkalmaznak, melyet vákuum-szivattyú tart fenn. A vákuumteret a N_2 -vel hűtött hajlékony fenoplaszt rétegtől (5) a ~0,127 mm vastagságú bor-szilikát zóna (10) választja el. (A számozás és funkciók azonosak az a. és b. ábra részekén.)

Cseppfolyósított gázok szállítása számottevően megnöveli az üzemanyagcsövek tömegét és szükséges térfogatát is (35.c. ábra). Például a cseppfolyós LH_2 továbbítására szolgáló 2,54 cm átmérőjű 0,04 cm falvastagságú csövet (1) borító alumínium és (3) fenoplaszt (2) szigetelő rétegek átmérőjét négyszeresére (10,16 cm), így keresztmetszetének felületét tizenhatszorosára növelik.

Mivel az alacsony hőmérsékleten cseppfolyósított gázok sűrűsége alig fele, a hidrogén esetében mindössze 1/11–1/12 része a kerozinokénak, ezért, ekvivalens energiamennyiség tárolására, – figyelembe véve magasabb égéshőjüket is – a számítások és aerodinamikai megfontolások alapján:

- a szükséges vastag hőszigetelő réteg és az aerodinamikai követelmények összeegyeztethetlensége miatt a repülőgépek szárnya nem vehető figyelembe (LH_2 vagy LCH_4) kriogén tüzelőanyagok tárolására. Tanker esetében ugyan emiatt a külső póttartály alkalmazása sem célszerű;
- csak a törzsben alakíthatók ki tüzelőanyag tartályok. Ezek ekvivalens energiamennyiséget biztosító térfogata – a hőszigetelés is figyelembe véve – LH_2 esetében 3,8–4,2-szerese a kerozinénak. Nagyobb tárolási nyomás esetén – szilárdsági megfontolásból – csak hengerek, vagy gömb alakú tartályok vehetők számításba. Így, a töltő és töltendő repülőgépek esetében egyaránt a magas, széles törzsű sárkányok megjelenése várható (36. ábra). Az ábrán egy A-320-as, jelenleg is széles körben használatos, korszerű közforgalmú utasszállító repülőgép gázzal üzemelő változatának kontúrja látható, az utastér felett elhelyezett gáztartályokkal. Mivel a töltendő, pl. utasszállító repülőgépnél az utastér alatti törzstérfogatot a poggyász- és teherszállításra szolgál, így a gáztartályok csak a törzs felső, járulékos megnagyobbított részébe építhetők be.



36. ábra Kriogén gázok tárolására szolgáló tartályok lehetséges elhelyezése a törzsben [12]

Az üzemeltetés során további lényeges különbség, hogy e gázok – külön energia betáplálása nélkül – cseppfolyós állapotban, a repülést követően nem maradhatnak a tartályokban.

4.3. (L)Égi utántöltés elektromos meghajtású repülőgépeken

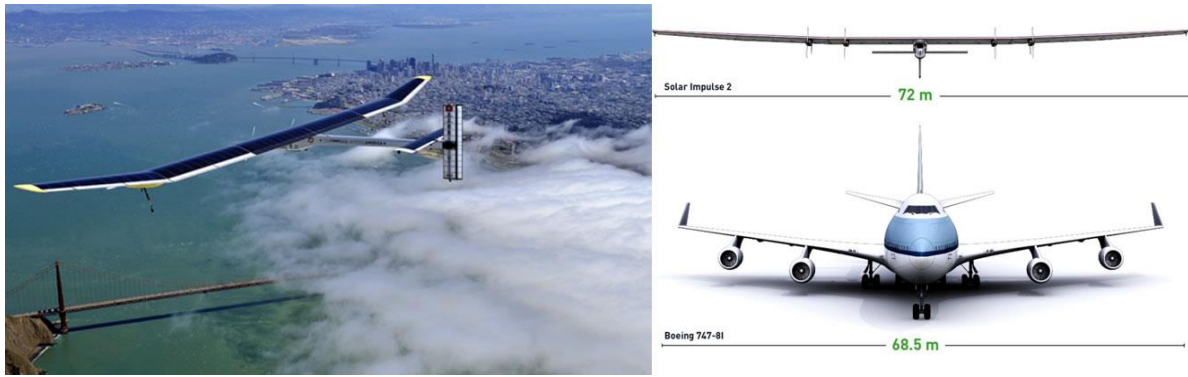
Az elektromos meghajtás energetikai táplálására jelenleg két, még kutatás, fejlesztés alatt álló módszer ismert, a napelemek, illetve az üzemanyagcellák alkalmazása [1]. Köztes megoldásként – döntően a jelenlegi akkumulátorok alacsony energiahatékonyasága és hosszadalmas töltetősége miatt, fosszilis üzemanyagot is felhasználva – vizsgálják a hibrid meghajtás lehetőségét is. Utóbbiak légi utántölthetősége egyelőre nem kutatott terület.

A napelemes táplálású elektromos meghajtású repülőgépek (l)égiutántöltését azért is célszerű vizsgálni, mert ez az űrrepülésben már régen alkalmazott bevált eljárás, amihez ott sem „lég”-re, sem utántöltő repülőgépre nincs szükség, csupán (nap)fényre és a repülőeszközön elhelyezett olyan napelemekre, melyek képesek a fényenergiát elektromos árammá alakítani.



37. ábra A Nemzetközi űrállomás (ISS) napelem rendszere [13]

Sajátos, hogy míg az ~450 tonna tömegű, folyamatosan 5–6 fős személyzettel a Föld körül keringő Nemzetközi Űrállomás (ISS) (37. ábra) teljes energiaellátását a rajta elhelyezett napelemek már több mint másfél évtizede képesek maradéktalanul biztosítani, addig hagyományos repülőgépeknél jóval szerényebbek ezek az eredmények. Annak ellenére is, hogy a jelenlegi fejlesztések már ott tartanak, hogy a napsütés részleges hiányában is megvalósulhat ez.



38. ábra Solar Impulse 2. San Francisco felett, illetve fesztávolsága összevetve a Boeing 747-ével [13]

A napelemes repülőgépek fejlesztése érdemben 1981 óta folyik. Jelenleg e kategóriában a *Solar Impulse 2* elnevezésű, egyszemélyes kísérleti légi jármű tekinthető a legkorszerűbbnek. E – a Boeing-747-ét meghaladó fesztávolságú, de csak 2300 kg tömegű repülőeszköz (38. ábra) – szárnyára, vezérsíkjaira és a törzsére összesen 269,5 m² felületen, 17 248 darab, 135 mikron vastagságú, mono-kristályos napelemet rögzítettek, amely a törzsben és motorgondolákban elhelyezett, együttesen ~500 kg tömegű lítium-polimer akkumulátorokat tölti, illetve látja el energiával a 4 légsavart meghajtó, egyenként 13 kW teljesítményű villanymotort. Mindez 70 km/h átlagsebességű, folyamatos repülést, vagy akár $v_{\max} = 140$ km/h elérését is lehetővé teszi H = 8000 m-es magasságban).

2015-ben folyamatos napelemes utántöltéssel megkezdték a Föld körbepülést. Ezt félúton, a tönkrement akkumulátorok miatt ugyan 9 hónapra meg kellett szakítani, de 2016 júliusában eredményesen befejezték és leszálltak a kiindulási repülőtérre Abu-Dzabiban.

Megjegyzés

A környezetbarát villamos meghajtás térhódításának jelenlegi leginkább neuralgikus elemei az energia megfelelő határfokú tárolása és az erre szolgáló eszközök gyors feltölthetősége. (A benzin, gázolaj ~1 dl-ben kb. annyi energia-mennyiség van, amennyit egy 20 kg-os ólomakkumulátor tárolni képes.) A legkorszerűbb lítium-ion (Li-Ion), valamint a lítium-polimer (Li-Po) akkuk még a mobiltelefonokban sem működnek mindig kielégítően biztonságosan (esetenként ki-gyulladnak, robbannak), a repülőgép energia-rendszerében történő alkalmazásuk is eredményezet kiábrándító tapasztalatokat (39. ábra). Emiatt is 2016. februárjától a légi úton történő szállításukat be is tiltották. Ezért jelenleg inkább nikkkel-kadmium (NiCd), vagy tartósabb nikkkel-fémhidrid (NiMH) akkumulátorokat használnak [12].



39. ábra B-787 repülőgép lítiumos akkumulátora repülés közben bekövetkezett robbanása után [12]

E területen várhatóan érdemi változást a jelenleg intenzív fejlesztési stádiumban lévő üzemanyagcellák elterjedése eredményezhet, különösen hatékonyságuk további javulását követően. Bennük, a hagyományos akkumulátorokhoz képest – azonos térfogatban kisebb szerkezeti tömeg mellett – lényegesen több energia tárolható, illetve megbízhatóságuk is magasabb, érzékenységük pedig a hőingadozásokra jóval alacsonyabb azoknál.

Nagyobb repülőgépeken (Airbus A320) is folyamatosan tesztelik az üzemanyagcellákat, de egyelőre csak a segédhajtóművek rendszerében, illetve kiegészítő energiaforrásként a világítások és az avionikai berendezések táplálására.

4.4. (L)Égi utántöltés kémiai üzemanyaggal a világűrben

A földkörül keringő műholdak fedélzeti rendszereinek ellátása megoldható napelemekkel (38. ábra), a pályán tartásukhoz szükséges térbeli helyzet korrekciók azonban csak vegyi üzemanyagot felhasználó hajtóművek működtetésével történhet. Mivel ezek közül a geoszinkron, geostacioner pályákon haladók ($H > 36\,000$ km), – rendszerint hírközlési rendeltetésűek – technikai élettartama elérheti a 15–20 évet, felmerült az igény vegyi üzemanyaggal történő utántöltésükre orbitális pályán, mivel így, – az egyébként megfelelő műszaki állapotban levők és erőkölsileg a megengedett mértékben elavultak – hasznosítható üzemideje legalább még további 2–4 évvel meghosszabbítható.

Ennek kimunkálására – távközlési vállalatcsoport megbízásából – az űreszközök robotkarjainak (Space Shuttle, ISS) specialistája, a kanadai MDA cég vállalkozott [29]. Tervek szerint az összekapcsolás és az üzemanyag áttöltés (maximálisan 2000 kg, 4–5 műhold számára) a rögzítő karokkal történne (41. ábra). Ez az eljárás nem új, 2007-ben az Orbital Express amerikai katonai űrkísérletben már kipróbálták (az ott alkalmazott robotkart is az MDA készítette!).

Maga a kiszolgáló műhold SIS (Space Infrastructure Servicing) ugyanakkor nem csak utántöltésre szolgálna, hanem tervek szerint gyors szervizként is működne. Középről megvizsgálhatná, elvontathatná elromlott műholdakat, esetleg kisebb javítások elvégzésére is alkalmassá tehető, amire külön robotkart is építenének rá. Ez lassíthatná az űrszemét képződését is.



41. ábra B-787 Az MDA üzemanyag-utántöltő műhold (balról) csatlakozása a feltöltésre váróval (jobb)
(Forrás: MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd) [28]

A tervek szerint az első repülésre – Proton hordozórakéta segítségével – 2016-ban kerülhet sor. A műhold számított starttömeg, – a 2 tonna üzemanyaggal együtt – ~6 tonna lesz [29].

5. VÉGSŐ KÖVETKEZTETÉSEK

A géprepülés évszázados múltjával közel azonos időszakra tekint vissza a légi járművek levegőben, üzemanyaggal történő utántöltés is, melynek jelentősége napjainkig folyamatosan nő. Ennek, hagyományos üzemanyagokat alkalmazó módozatai a helikopterek után fokozatosan kiterjedtek a robotrepülőgépekre is. Tudományosan megalapozott prognózisok szerint, belátható időn belül – döntően gazdaságossági és környezetvédelmi megfontolások miatt – szükségessé válik a hosszú távú légi szállítást lebonyolító polgári repülőgépek bevonása is e körbe, valamint egyes űreszközökre történő kiterjesztése is. Mindezekhez elengedhetetlen a teljes utántöltési folyamat minden változata, valamennyi mozzanata számára a magas biztonságú, gyors, automatikus végrehajthatóság lehetőségét kimunkálni. Mindennek egyik fontos, alapvető feltétele a Föld – e célból számításba vehető teljes – légterében, a ± 1 m-en belüli, 3D-s, műholdas navigációs pontosság elérése.

Ez utóbbi rendszerszerű megvalósítása, – a számos hasznosítható katonai tapasztalat adaptációjával is – sok konstrukciós (mindenekelőtt folyamat automatizálási), logisztikai, földi és légi üzemeltetési (benne repülésirányítási és meteorológiai biztosítási), valamint komplex bázisvédelmi feladat megoldását igényli. Megalapozottan feltételezhető, hogy a légi járművek működtetésére használható, potenciális alternatív energiaforrások alkalmassá tétele a széleskörű, gyakorlati felhasználásra, – ennek részeként levegőben történő utántöltésre - az elkövetkező évtizedek súlyponti feladatai közé fog tartozni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BÉKÉSI BERTOLD, JUHÁSZ MÁRTA: Pilóta nélküli légi járművek energia forrásai, *Economica* (Szolnok) 2014/1. pp. 92-100.
- [2] BÉKÉSI BERTOLD, PAPP ISTVÁN: Pilóta nélküli légi járművek megbízhatósága In: Pokorádi László (szerk.) *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2014*. 435 p. Konferencia helye, ideje: Szolnok, Magyarország, 2014.05.13 Debrecen: MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, 2014. pp. 223-230. (Elektronikus Műszaki Füzetek; 14.) (ISBN:978-963-508-752-5)
- [3] BÉKÉSI BERTOLD, SZEGEDI PÉTER: Preliminary Design of Controller of Longitudinal Motion of the Unmanned Aerial Vehicle Using LQR Design Method In: Žilvinas Bazaras, Donatas Markšaitis, Evaldas Švaronas, Ovidijus Putnynas (szerk.) *Proceedings of the 10th International Conference: Transport Means 2006*. Konferencia helye, ideje: Kaunas, Litvánia, 2006.10.19-20. Kaunas: Technologija, 2006. pp. 324-327.
- [4] DUNAI PÁL: Az ügyességtan jelentősége a hajózó állomány és UAV kezelőszemélyzet felkészítése során: A képességfejlesztés lehetséges módszerei, *Repüléstudományi Közlemények 2012/2* pp.
- [5] BÉKÉSI BERTOLD, SZEGEDI PÉTER: Sensors on Board of the Unmanned Aerial Vehicles In: Rolandas Makaras, Robertas Keršys, Povilas Gražulis, Rasa Džiaugienė (szerk.) *Proceedings of 19th International Scientific Conference Transport Means 2015*. 781 p. Konferencia helye, ideje: Kaunas, Litvánia, 2015.10.22 -2015.10.23. Kaunas: Technologija, 2015. pp. 219-222.
- [6] ELBIT honlapja, e-doc, url: http://elbitsystems.com/Elbitmain/files/MUSIC_C-MUSIC.pdf (2016.01.10.)
- [7] EARLY, JULIANA: In-flight refuelling for airliners will see non-stop services shrink the globe. *The Conversation Academic rigour, journalistic flair*, 2015. 04. 10. e-doc, url: <http://theconversation.com/in-flight-refuelling-for-airliners-will-see-non-stop-services-shrink-the-globe-39931> (2015.10.25)
- [8] HEESBEEN BART, LÖBL DAVID, GROENEWEG JAAP: Human Factors Aspects of Air-to-Air Refuelling of Civil Aircraft - A Human-in-the-loop study National Aerospace Laboratory Amsterdam, Netherlands and Technical University Munich, Germany 2015. e-doc, url: <http://www.cruiser-feeder.eu/downloads/heesbeen-loebl-groeneweg---human-factors-aspec.pdf> (2016.01.22)
- [9] KARNAUSKAS KRIS: Air Travel and Climate. A Potential New Feedback? *Woods Hole Oceanographic Institution* 2015. 07. 13. e-doc, url: <http://www.whoi.edu/news-release/air-travel-and-climate>
- [10] KŐVÁRI LÁSZLÓ: JET FLY, e-doc, url: <http://jets.hu/news?id=184>; <http://jets.hu/news?id=201>; <http://jets.hu/news?id=542> (2016.01.22)
- [11] NORIS GUY: Boeing KC-46 Tanker Completes First Air Refueling *Aerospace Daily & Defense* 2016. 01. 25. e-doc, url: http://aviationweek.com/defense/boeing-kc-46-tanker-completes-first-air-refueling?NL=AW-05&Issue=AW-05_20160125_AW-05_834&sfvc4enews=42&cl=article_1&utm_rid=CPEN100000946906&utm_campaign=4768&utm_medium=email&elq2=3b87f5509bab4fe69e58e57278aa7b7b (2016.01.26)
- [12] ÓVÁRI GYULA DR.: Gázok és villamosság, mint lehetséges repülőgép-üzemanyagok III. *HADITECHNIKA* 2014/4. p. 2-6. HU ISSN: 0230-6891
- [13] ÓVÁRI GYULA: Merev és forgószárnyas repülőgépek szerkezetana III. A sárkány rendszerei *KGyRMF 1989 Szolnok*, (lényegesen átdolgozott multimédiás változat *ZMNE/BME/NKE* 2011)
- [14] PALIK MÁTYÁS DR.: 9. A pilóta nélküli légi járművek katonai alkalmazása, *PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLÉS PROFIKNAK ÉS AMATŐRÖKNEK* (Palik szerk.): 320 p. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem (ISBN: 9789630869232), 2013. pp. 281-297.
- [15] SMITH RICHARD K.: *Seventy-Five Years of Inflight Refueling Highlights, 1923-1998*, Authored by Office of Air Force History, U.S. Air Force, 1915 pp. 92, ISBN/EAN13: 1508673667/9781508673668
- [16] SZABÓ SÁNDOR ANDRÁS, HORNYIK JÓZSEF: UAV (pilóta nélküli légi jármű) műveletek repülő-egészségügyi feltételrendszerének biztosítása, *Repüléstudományi Közlemények*, Szolnok, 2013/1. pp. 61-77.
- [17] SZABÓ SÁNDOR ANDRÁS: "Öreg pilóta nem vén pilóta" Élettani korlátozó tényezők és szellemi teljesítmény az életkor függvényében a pilóta és az U(C)AV operátor minősítése szempontjából *REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK* 2012:(2) pp. 502-514. (2012)
- [18] SZEGEDI PÉTER, BÉKÉSI BERTOLD: Az UAV-on alkalmazható szenzorok In: Mesterházy Beáta (szerk.) *XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia: Konferencia helye, ideje: Szombathely, Magyarország, 2015.05.16.: Nyugat-magyarországi Egyetem*, 2015. pp. 175-182. (ISBN: 978-963-359-053-9)

- [19] SZILVÁSSY LÁSZLÓ: A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a magyar honvédségben Debrecen: Debreceni Egyetem - MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, 2011. 35 p.(Elektronikus Műszaki Füzetek; X.)(ISBN:978-963-7064-26-5)
- [20] SZÓRÁD TAMÁS: Szomjas nehézszállítók Aeromagazin 2016/7 pp. 28-31.
- [21] TUBA Z, BOTTYÁN Z, WANTUCH F, VIDNYÁNSZKY Z, HADOBÁCS K: Javaslat katonai műveletek tervezésének meteorológiai támogatási modelljére. Hadmérnök 8:(3) pp. 294-304. (2013)
- [22] WERTZ, JAY: Filling Stations in the Sky Aviation History, Drafts 2009. 12. 03. e-doc, url: <http://www.historynet.com/filling-stations-in-the-sky.htm> (2015.08.22.)
- [23] Дозаправка в воздухе, часть 3. Так это делается сейчас... У нас... 2012. 09. 27. (by Юрий) e-doc, url: <http://avia-simply.ru/dozapravka-v-vozduhe-3/> (2015.08.16)
- [24] Дозаправка самолета в воздухе. как происходит? e-doc, url: <http://avia.pro/blog/dozapravka-samoleta-v-vozduhe> (2015.12.21.)
- [25] Первая в мире дозаправка в воздухе по шлангу 27 июня 1923 года e-doc, url: <http://fotowarmotors.ru/?view=albums/Doiposlewar/36.jpg&num=3109&a=Doiposlewar> (2015.12.20)
- [26] Славина, Наталия: Полет без остановки, Возможна ли дозаправка в воздухе пассажирских самолетов Российская Газета 2011. 04. 16. e-doc, url: <http://www.rg.ru/2011/04/06/dozapravka.html> (2014.11.20)
- [27] С крыла на крыло. Военно Обозрение, Вооружение Авиация 2015. 04. 01. e-doc, url:<http://topwar.ru/71979-s-kryla-na-krylo.html> (2015.09.20)
- [28] Тренажер по дозаправке, e-doc, url: http://pkbm.e58.ru/tren_zapr.html (2016. 01.12)
- [29] http://www.urvilag.hu/uj_eszkozok_es_anyagok/20110317_muholdtankolas_a_lathataron (2011.03.18)
- [30] Navy's plans include unmanned aircraft that could operate for months at a time Military & Aerospace 2016. 02. 08 <https://defensesystems.com/articles/2016/02/08/navy-unmanned-system-directorate-plans.aspx> (2016.02.12.)
- [31] Самолёты-заправщики. Зарубежное Военное Обозрение, Военно-Воздушные Силы 2015. 07. 15. e-doc, url: <http://www.zvo.su/vvs/samolety-zapravschiki.html> (2015.10.21.)
- [32] Дозаправка в воздухе тактических самолётов Зарубежное Военное Обозрение, Военно-Воздушные Силы 2014. 03. 04. e-doc, url: <http://www.zvo.su/VVS/dozapravka-v-vozduhe-takticheskikh-samoletov.html> (2015.03.18.)

**METHODS OF AIRCRAFT'S AIR-TO-AIR REFUELLING; CONVENTIONAL
AND NEW OPTIONS FOR THE APPLICATION OF THESE METHODS**

The history of in-flight air-to-air refuelling (AAR) goes back to more than one century. The importance of AAR, basically in military aviation, has been increasing gradually up to the present, practically it has become inevitable. During the first decade of the 21-st century the necessity of AAR of unmanned aerial vehicles (UAV) emerged as a new element. Furthermore, considering environmental and economical aspects, the opportunity to apply AAR in civil aviation also has arisen. The development of reliable refuelling devices, systems and technologies for in-flight AAR with alternative energies is an intensively researched issue at present.

Keywords: *air-to-air refuelling AAR using flexible tubes telescopic pipes, helicopters, UAVs, civilian, electric aircraft, space vehicle, alternative fuels*

Dr. KAVAS László (PhD)
alezredes, egyetemi docens
Nemzeti Közszerológálati Egyetem,
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
Repülőgép Sárkány-hajtómű Tanszék
kavas.laszlo@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-7375-3527

KAVAS László (PhD)
Associate professor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
Department of Aircraft and Engine
kavas.laszlo@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-7375-3527

Dr. ÓVÁRI Gyula
okl. repülőmérnök, egyetemi tanár
Nemzeti Közszerológálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék
ovari.gyula@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-8604-5861

ÓVÁRI Gyula, (CSc)
Dipl. Aeronautical Ing., Professor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
Department of Aircraft And Engine
ovari.gyula @uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-8604-5861

Dr. VARGA Béla (PhD)
alezredes, egyetemi docens
Nemzeti Közszerológálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
Repülőgép Sárkány-hajtómű Tanszék
varga.bela@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0003-3454-0825

VARGA Béla (PhD)
Associate professor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
Department of Aircraft and Engine
varga.bela@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0003-3454-0825



Palik Mátyás, Vas Tímea

BIZTONSÁGIRÁNYÍTÁSI RENDSZER¹ ALAPELVEI AZ UAS² ÜZEMELTETÉSÉBEN

Számos, pilóta nélküli repüléssel kapcsolatos kutatás történt és jelenleg is folyamatban van Magyarországon. A kutatócsoportok vizsgálták az UAS repülésbiztonsági- [1], meteorológiai- [2] és humán [3] aspektusait, részt vettek hazai és nemzetközi konferenciákon, melyek eredményei hozzájárultak ahhoz, hogy a hazai UAS repülés jogszabályi hátterének megalkotása elkezdődhessen. A szerzők a cikkben megvizsgálják, hogy az ICAO³Annex 19. ajánlásai és a CASA⁴ ebben a repülésbiztonság témájában kiadott kézikönyvei, hogyan erősíthetik az UAS üzemeltető vagy üzemeltető szervezetek biztonság tudatát.

Kulcsszavak: Biztonságirányítási rendszer, biztonsági célok, kockázatok, biztonság szavatolása, biztonság elősegítése, humán faktor, esemény

A pilóta nélküli légi járművek széles körű alkalmazási lehetőségei hozzájárultak ahhoz, hogy ne csak az állami, de a civil felhasználók számára is elérhető legyen ez a technológia Magyarországon. Mivel számuk érezhetően növekszik, ezért egyre égetőbb kérdést jelent a szabályozott keretek közötti alkalmazás lehetőségének megteremtése. Ennek egyik fontos mérföldköve volt a légügyi törvény (továbbiakban Lt⁵) 2015 novemberében megjelent módosítása, mely egyrészt meghatározta a pilóta nélküli légi jármű⁶ és pilóta nélküli légi jármű rendszer fogalmát, továbbá a légi közlekedési hatóságot⁷ feljogosította, hogy a pilóta nélküli légi jármű tulajdonosának, üzemeltetőjének, vagy kezelő személyzetének adatait nyilvántartásba vegye, a tevékenység ellátásához szükséges egészségi állapotára, kóros szenvedélyeire vonatkozóan, valamint vizsgaeredményei, alkalmassági minősítései és képzései kapcsán felvett adatokat kezelje és ellenőrizze⁸.

Fontos megemlíteni, hogy a polgári UAV-kat a Lt. a lajstromozásra nem kötelezett légi járművek közé sorolja, melyekről ugyan nyilvántartást vezet, de nem kötelezi azok üzemeltetőit, illetve a személyzet képzésére szakosodott intézményeket sem, hogy repülésbiztonsági irányítási rendszert működtessenek. Ennek okai között valószínűsíthető az európai uniós szabályozás, valamint a légi közlekedési hatóság ellenőrzési kapacitásának korlátai is. Habár, pontosan az európai uniós szabályozás illetve annak hiánya, ami jelenleg csak a 150 kg feletti polgári pilóta

¹ SMS: Safety Management System, ICAO Annex 19

² UAS: Unmanned Aircraft System; Lt.71. § 36. pilóta nélküli légi jármű rendszer: a légi járművet, a légi jármű vezetéséhez szükséges távvezérlő munkaállomást és az ezek közötti folyamatos adatkapcsolatot nyújtó berendezést, valamint a légi járművel végrehajtott repüléshez szükséges egyéb berendezéseket magában foglaló rendszer;

³ ICAO: International Civil Aviation Organization, Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet

⁴ CASA: Civil Aviation Safety Authority, Australian Government

⁵ Lt.: 1995 évi XCVII. törvény a légi közlekedésről

⁶ Lt.71.§ 35 pilóta nélküli légi jármű: olyan – a pilóta nélküli légi jármű rendszer elemét képező – távvezérelt légi jármű, amelynek vezetését nem a fedélzeten tartózkodó személy végzi. Pilóta nélküli légi járműnek minősül az előző feltételeknek megfelelő önálló repülésre – részben, vagy teljesen – alkalmas és az önálló repülésre nem alkalmas távvezérelt légi jármű is;

⁷ Nemzeti Közlekedési Hatóság, Légügyi Hivatala

⁸ Lt.3/A. §

nélküli légitársaságokra terjed ki, biztosít lehetőséget a nemzeti jogalkotásnak, hogy ezt a területet saját hatáskörben a szükségesnek ítélt biztonsági garanciák mentén szabályozza.

Jelenleg, mind a polgári, mind az állami pilóta nélküli légitársaság (továbbiakban UA⁹) alkalmazásának végrehajtási rendeletei és részletszabályai kidolgozás alatt vannak, de felvetődik a kérdés, elegendő e csupán a jogi szabályozás a felhasználók biztonság tudatának erősítéséhez?

Az interneten több olyan légitársasággal is találkozhatunk, amiből kiderül, hogy a felvételt készítő UA kiemelt kockázatot jelentett a többi légitársaságnál. Talán ezek közül az egyik legismertebb az isztambuli Atatürk nemzetközi repülőtér felett 2015 januárjában készült videó¹⁰. De előfordult ilyen eset a Dubai repülőtéren is, amely fölé hobbi pilóták repültek be drónjaikkal¹¹ és ezért a repülőtér fogadóképességét órákra felfüggesztették. Nem kell azonban ennyire messze mennünk, hazai videókat is találunk az interneten melyek 40 km-es távrepüléseket mutatnak be, valószínűsíthetően olyan magasságon, amit más légitársaságok is igénybe vesznek. Az említett eseteket nem csak a rosszindulatú felhasználók, hanem a nem megfelelő ismeretekkel rendelkező, felelőtlen emberek is elkövetik.

A másik kérdés, ami mindezek ismeretében felvetődik, hogy Magyarországon vajon milyen az általános biztonság tudat? Hogyan viszonyul az egyén a saját és mások biztonságához?

- Amikor vezetünk, mindig bekötjük a biztonsági övet?
- Amikor piros a lámpa, át szoktunk menni az úton?
- Amikor fát vágunk, veszünk védőszemüveget?
- Amikor síelünk vagy kerékpározunk, veszünk védősisakot?
- Amikor autót vezetünk szoktunk mobil telefonálni headset vagy kihangosító nélkül?
- Ragaszkodunk a sebesség határokhoz?
- Megfelelő féktávolságot tartunk?¹²

A válaszok ismeretében a saját biztonság tudatunkról reális képet kaphatunk, ami, ha őszinték akarunk lenni nem biztos, hogy kielégítő sem magunkra, sem másokra nézve. Mi lehet a megoldás? Az USA Légügyi Hatósága – FAA¹³ egy rövid, de lényegre törő oktatóvideóval¹⁴ tisztázza azokat az alapvető szabályokat, melyeket elsősorban a hobbi és rekreációs célú felhasználóknak ismernie kell. Az oktatás, illetve egy követendő magatartást ösztönző hatékony kommunikáció lehet módja annak, hogy erősödjön a jelenlegi és jövőbeni UA pilóták biztonság tudata.

A következőkben szeretnénk megvizsgálni, hogy intézetünk (Katonai Repülő Intézet) pilóta nélküli légitársaság kezelők számára szervezett tanfolyamok elméleti és gyakorlati ismeretek átadása során, hogyan lehet hatékonyan növelni a kezelők és üzemeltetők biztonság tudatát.

⁹ UA: Unmanned Aircraft, ICAO Circular 328

¹⁰ <https://www.youtube.com/watch?v=QGMDQ-vaV9Y>

¹¹ <http://www.thenational.ae/uae/transport/recreational-drones-bring-dubai-airport-traffic-to-a-halt>

¹² Klement Tibor: Director HSE, 2016.01.21. MH LVK repülésbiztonsági konferencia előadás anyagából

¹³ FAA: Federal Aviation Agency

¹⁴ www.KnowBeforeYouFly.org

*„Akinek szenvedélye a repülés tudja,
hogy a biztonság olyan fontos ebben a szakmában,
mint oxigén a lélegzésben.*

*A hiányos és hatástalan biztonságirányítás
katasztrofális lehet, társadalmi felháborodást,
elhúzódozó vizsgálatokat és jogi procedúrát von maga után.¹⁵*

Dr. Tony Barell¹⁶

BIZTONSÁGIRÁNYÍTÁS, BIZTONSÁG MANAGEMENT-SMS [4]

Mit jelenthet számunkra az SMS? Azok a vállalkozások, akik rendszer szintjén alkalmazzák a biztonságirányítást, tudják, hogy ez jól kiegészíti, és támogatja a vállalkozásuk céljait, valamint a műszaki és emberi tényezőket. Az SMS általánosan elfogadott haszna a légijármű üzemben-tartóknál a következő:

- csökkenti a repülőesemények és a légijármű alkatrészek károsodásának és helyreállításának költségeit, és a sérülések miatt elvesztegetett időt;
- csökkenti a nem közvetett költségeket, mint biztosítás, vagy a vállalkozásunk elismertsége, hitele.

Mindezek a célok intézetünk számára is megszívlelendők, a biztonságirányítás megvalósítása a jövőbeni sikeres munka záloga lehet. A közvetlenül jelentkező károk intézetünk esetében is könnyen kimutathatók. Ilyenek a pilóta nélküli eszközeink sérülései, alkatrészek károsodása, a hasznos teher nem megfelelő súlyponti elhelyezése, túlterhelés miatti károsodás, akkumulátor élettartam nem megfelelő kihasználása, minden, ami a nem biztonságos üzemeltetés során keletkező kár és annak költsége. A közvetett költségek általában magasabbak, mint a közvetlen költségek, ha nem is tűnnek annyira nyilvánvalónak, vagy csak később jelentkeznek. Ilyen lehet az intézetünk presztízsvesztesége, az oktatás hitelességének csökkenése, növekedő biztosítási költségek, rövid- illetve hosszútávon jelentkező anyagi kiadások.

A közvetett és közvetlen költségek mértéke a légiközlekedési baleset vagy súlyos repülőesemény bekövetkezésekor a legkomolyabb. A pilóta nélküli légijárművekkel bekövetkező eseményeket a magyar jog a kbvt.¹⁷ 2. § f, g, h pontjában nevesíti, utalással az uniós jogra¹⁸. Baleset alatt értik: „a pilóta nélküli légi járművek esetében az üzemeltetés során azon időszak alatt bekövetkezett eseményt, amely a légi járműnek a repülési céllal történő helyzetváltoztatásra való készen állásától addig tart, amíg a légi jármű a repülés befejeztével nyugalmi állapotba nem kerül és a főhajtóművet le nem állítják”, melynek során valamely személy súlyos vagy halálos sérülést szenved, aki például a légijármű bármely részével közvetlenül érintkezik, ez lehet a légijárműről levált valamely alkatrész is. A súlyos repülőesemény, amely olyan körülmények között következett be,

¹⁵ Fordította a szerző

¹⁶ Dr. Tony Barrell, a former CEO of the UK Health and Safety Executive's Offshore Safety Division,

¹⁷ 2005. évi CLXXXIV. törvény, törvény a légi-, a vasúti és a víziközlekedési balesetek és egyéb közlekedési események szakmai vizsgálatáról

¹⁸ 996/2010 EU rendelete, a polgári légiközlekedési balesetek és repülőesemények vizsgálatáról és megelőzéséről és a 94/56/EK irányelv hatályon kívül helyezéséről, 2. cikk 1.

amelyek során nagy valószínűsége volt baleset bekövetkezésének. Utóbbira példa lehet az isztambuli repülőtér feletti drón repülés elkövetése is, vagy légtérsértés, veszélye megközelítés és a légiközlekedés biztonság egyéb módon történő veszélyeztetése.

Ahhoz, hogy ne jussunk el még véletlenül sem idáig, fel kell építenünk a saját biztonsági stratégiánkat az alapoktól, rendszer szinten kell alkalmaznunk és folyamatosan felül kell vizsgálnunk a működését.

„A legrosszabb ok arra, hogy legyen SMS-ünk, mert jogszabály írja elő számunkra” [4]

Intézetünk célja legyen, hogy fejlessze és működtesse a biztonságirányítás rendszerét, feltárja a kockázatokat, hogy időben kezelhesse és az elfogadható legalacsonyabb szinten (ALARP¹⁹) tartsa azokat. A biztonságirányítási rendszer kulcs szavai alatt a következőket definiálják [4]:

Biztonság: olyan állapot, ahol az ember és értékek sérülésének valószínűségét az elfogadható legalacsonyabb kockázati szintre csökkentik és tartják, valamint az előforduló veszélyek beazonosítását és csökkentését folyamatosan figyelik.

Irányítás (management): tervezés, finanszírozás, irányítás, ellenőrzés.

Rendszer: az eljárások összehangolt működtetése.

Az ICAO a biztonságirányítási rendszert egy szervezet biztonsághoz való hozzáállásában fejezi ki, ide tartoznak a szükséges szervezeti struktúrák, a világos feladatok és felelősségi körök, a kiszámíthatóság, az elvek és eljárások. Szükséges meghatározni a szervezet céljait, az eléréshez szükséges feladatokat, mérhetővé tenni a mindenkori biztonság szintjét és dokumentálni azokat.

BIZTONSÁGI POLITIKÁNK, ÉS CÉLJAINK [5]

Intézetünk politikája címén azt kell megfogalmaznunk, hogy a szervezet mit tesz azért, hogy a biztonságot fenntartsa. Ezért tartalmaznia kell a szervezet biztonsági céljait, a szervezet vezetőinek azon elkötelezettségét, mely biztosítja a biztonság fenntartásához szükséges erőforrásokat, a szervezeten belül a felelősségi szinteket és az ahhoz rendelt feladatokat, a vezetőség támogatását a pozitív biztonság kultúra megteremtéséhez. A céljainkat továbbá rövid- közép és hosszútávon kell definiálni és mérhetővé tenni, hol is tartunk a célok elérésének folyamatában.

Biztonsági politikánk kiterjed:

- az UA képzés elismertségének magas szinten tartására;
- az intézet pilóta nélküli eszközeinek biztonságos üzemeltetésére;
- a feladatok és felelősségi körök tisztázása és pozitív biztonsági kultúra kialakítására;
- a veszélyek és kockázatok időbeni felismerésére, azok elfogadható szinten tartására;
- a biztonsági rendszer felülvizsgálatára, a hiányosságok és a veszélyek felismerésére;
- az alkalmazott szabványos eljárások kialakítására és folyamatos fejlesztésére;
- az oktatók megfelelő képzettségének és gyakorlatának növelésére;
- a képzésben résztvevő hallgatók biztonságtudatának erősítésére.

¹⁹ ALARP: As Low As Reasonably Practicable

Ahhoz, hogy az intézetünk politikája fenntartható legyen a vezetőség elkötelezett támogatására van szükség a biztonság fenntartásához. Jelen esetben a Nemzeti Közszolgálati Egyetem rektora láthatja el a pilóta nélküli eszközeink üzemeltetői és egyben fenntartói feladatait is, hiszen mi önálló, erre a célra fordítható költségvetéssel nem rendelkezünk.

Felelős biztonsági szakember/bizottság

Az intézetünk pilóta nélküli eszközeinek biztonságos üzemeltetéséhez szüksége meghatározni az egyes feladatokat és a felelősségi köröket. A rendszerszintű biztonság felügyelethez egy megfelelő képzettséggel rendelkező szakemberre lehet szükség, de kisebb légitársaságoknál ahol erre nincsen kapacitás, a vezető vagy az általa kijelölt személy is elláthatja ezt a feladatot. A biztonsági szakember feladata, hogy ő maga az eljárások és szabályok mentén tevékenykedjen, hogy folyamatos kommunikációt tartson fenn a szervezet dolgozóival, erősítse és bátorítsa az események jelentését, folyamatosan elemezze a biztonsági szintet és azt az elfogadható legalacsonyabb szinten tartsa.

A rendszeres auditáláshoz, a független vizsgálat lefolytatása érdekében egy külső szakembert is fel lehet kérni. A bizottság, rendszeres időközönként kerül összehívásra. Tagjai, kisebb szervezetnél, mint a mi intézetünk is az oktatásban és üzemeltetésben részt vevő személyek. A bizottság feladata, hogy a feltárt problémák kezelésére megoldási javaslatokat adjon, ajánlásokat tegyen, rendszeres biztonsági jelentéseket készítsen elő az üzemeltető, fenntartó testület számára, felkészüljön az auditra, felülvizsgálja az oktatók képzettségét, és ha szükséges további képzésekre tegyen javaslatot. Javaslatokat tegyen az üzemeltető (jelen esetben az intézetvezetés) és üzemeltető (Rektor) számára, hogy a szolgáltatások, beszerzések kapcsán kötött szerződések harmonizáljanak a biztonsági céljainkkal.

Hiányfeltárási analízis (GA²⁰)

A célja, hogy feltárja a biztonságirányítási rendszerünk hiányosságait, annak érdekében, hogy értékelni tudjuk azokat, és a rendszer működésére gyakorolt hatásukat. Először is kérdéseket kell megfogalmazni a rendszer működésével kapcsolatban. Pl.: Van-e biztonsági politikánk? Mérhető-e? Megvalósult-e, a meghatározott időszakra kitűzött cél? stb.

A válasz lehet „igen”, „nem” vagy „nem értékelhető”. A „nem” válaszokra később vissza kell térni és megvizsgálni annak okát. Majd a következő képletet kell alkalmazni:

$$\text{„igen válaszok száma”/összes kérdés száma} \times 100$$

Amennyiben a negatív válaszok aránya meghaladja a 40%-ot különös figyelmet kell fordítani a biztonság irányítási rendszer működésére.

Vészhelyzeti terv (ERP²¹)

A pilóta nélküli eszközök üzemeltetésében is fel kell készülni, bizonyos kényszerhelyzetek kezelésére, azok dokumentálására, kivizsgálásra, az információk megosztására szervezeten belül és kívül. Felül kell vizsgálni az üzemeltetésben érintett személyzet képzettségét és gyakorlatára kényszerhelyzet kezelés területén és ha szükséges biztosítsunk a számukra célirányos felkészítést. Mivel egy ilyen helyzet kezelése komoly mentális terhet jelent a személyzet számára, ezért rövid és világos

²⁰ GA: Gap Analysis checklist

²¹ ERP: Emergency Response Plan

utasításokat tartalmazó laminált kártyákkal is segíthetjük a munkájukat. Fontos hogy legyenek tisztában a jelentések rendjének protokolljával is, ezért a szükséges telefonszámokat, elérhetőségeket is fel kell tüntetni ugyanezen kártya hátoldalán. Attól függően, hogy milyen súlyos az esemény, a kivizsgálást szervezetten belül, vagy azon kívül álló független vizsgáló végzi.

BIZTONSÁGI KOCKÁZATOK KEZELÉSE [6]

A kockázatok, veszélyek kezelése nem más, mint azok beazonosítása, analizálása és megszüntetése, vagy egy elfogadható, tolerálható szintre hozása. A kockázat kezeléséhez, meg kell vizsgálni mindent, ami az üzemeltetés során sérülést, vagy veszélyt okozhat, és annak súlyosságától függően meg kell tenni a szükséges előkészületeket.

Kockázat: minden, ami kisebb nagyobb sérülést vagy kárt okozhat, ami negatív következményekkel jár, mint a rossz időjárási viszonyok, domborzat, akadályok, nagy munkaterhelés, fáradtság, alkohol vagy drogfogyasztás. Számos módja van a kockázatok beazonosításának és mennyiségi meghatározásának, de ahhoz, hogy ezt sikeresen véghez vigyünk, nem szabad, hogy más ötletek, tapasztalatok befolyásoljanak, csak pusztán a tényeket kell számba venni.

A kockázat azonosítás módszerei a következők lehetnek:

- ötletgyűjtés, az adott probléma feltárására, kis csoportban célravezető;
- szabványok, eljárások és a rendszer formális felülvizsgálata;
- a személyzet körében folytatott kutatás, kérdőíves felmérés;
- külső és belső biztonsági vizsgálat;
- a kockázat jelentési rendszer felülvizsgálata;
- koncepcionális vizsgálatok, mint a SHELL²² vagy a Reason modell.

Mielőtt belevágnánk a kockázat kezelési eljárások bármelyikébe, szükséges összegyűjteni a szervezet-, vagy rendszer szintjén beazonosított kockázatokat. Majd sorba kell rendezni azokat, melyik élvez prioritást az azonnali vagy későbbi kezelés szempontjából. Ezután az elsőbbségi kezelést igénylő kockázatokat kell sorba rendezni és a fenti módszerek valamelyikével kezelni azokat.

Ahhoz, hogy a veszélyek időben előre jelezhetőek legyenek, és beazonosításukkal hatékonyan védekezhessünk ellenük, a következő hét lépést ajánlja az irodalom [6]:

- folyamatos kommunikáció és konzultáció a szervezeten belüli és kívülálló érdekelt felekkel, így a tanfolyam résztvevőivel, azok munkáltatójával, szerződő felekkel, szolgáltatókkal, más oktatási intézményekkel. Ezzel megismerni céljaikat, elvárásukat, biztonságról alkotott véleményüket;
- beazonosítani a kockázatokat, a fenti módszerek segítségével;
- értékelni azok bekövetkezési valószínűségét és súlyosságát;
- megválasztani a szükséges, oda illő védelmi vagy ellenőrzési módszert;
- elemezni annak hatékonyságát;
- felismerni, ha további védelmi vagy ellenőrzési intézkedések megtétele szükséges;
- végül mindezt megfelelően dokumentálni kell.

²² SHELL: Softwer, Hardver, Enviroment, Liveware (human vs. system), Liveware (human interrelationship)

Kockázat kezelés és csökkentése

A kockázat, annak az esélye, hogy valaki vagy valami, veszély hatására sérülést szenved, azzal a mutatóval együtt, hogy a sérülés súlyossága milyen mértékű. Ennél a folyamatnál is az első lépés a kockázat beazonosítása, amely történhet úgy, hogy körbejárjuk a munkahelyeket, végig nézzük az esemény jelentéseket, megvizsgáljuk a régebbi biztonsági esemény jelentéseket, melyek segíthetnek rávilágítani az addig kevésbé jelentősnek hit veszélyekre is. A következő lépés, hogy el kell dönteni, a veszélyek közül melyik okozhat sérülést vagy kárt, illetve azok milyen eséllyel következhetnek be. Az előfordulás valószínűségének értékeléséhez az ICAO SMM 2.14.6 táblázata (1. táblázat) nyújt segítséget, ami egyfokozatú skálán értékeli a kockázat bekövetkezését.

Valószínűség	Jelentése	Értékelés
Gyakori	Valószínűleg gyakran előfordul	5
Alkalmanként	Nem gyakran, néhány alkalommal fordul elő	4
Csekély	Nem valószínű, hogy előfordul, de lehetséges	3
Valószínűtlen	Nagyon valószínűtlen, hogy előfordul	2
Túlzottan valószínűtlen	Szinte elképzelhetetlen, hogy előforduljon	1

1. táblázat ICAO SMM 2.14.6.

Ezután értékelni kell az esemény bekövetkezése esetén annak milyen kimenetelét, következményeit, és súlyosságát (2. táblázat). Itt a rendelkezésre álló mérési eljárások során, mindig a lehető legrosszabb reális forgatókönyvet vegyük számításba.

Érték	Súlyosság	Jelentés
A	Katasztrofális	<ul style="list-style-type: none"> Többszörös haláleset Eszközök megsemmisülése
B	Veszélyes	<ul style="list-style-type: none"> A biztonsági határ súlyos csökkenése, fizikai kényszer vagy terhelés, amikor a kezelő személyzet nem tudja megbízhatóan végrehajtani a rá bízott feladatot Súlyos sérülés Eszközök, berendezések károsodása
C	Mérsékelt	<ul style="list-style-type: none"> A biztonsági határ jelentős csökkenése, amikor a megváltozott körülmények a kezelő képességcsökkenését eredményezik, ezáltal nő a munkaterhelés, ami hátrányosan befolyásolja a hatékony munkavégzést Súlyos esemény Személyi sérülés
D	Kicsi	<ul style="list-style-type: none"> Kellemetlenség Működési korlátozások Kényszerhelyzeti eljárások Kisebbségi események
E	Elhanyagolható	<ul style="list-style-type: none"> Következményekkel jár

2. táblázat ICAO SMM 2.14.6.

Mindezek után értékelni kell a kapott eredményt és eldönteni, mennyire elfogadható az adott kockázat és milyen óvintézkedéseket kell megtenni (1. ábra)

		Súlyosság				
		A	B	C	D	E
Előfordulás gyakorisága		Katasztrofális	Veszélyes	Mérsékelt	Kicsi	Elhanyagolható
5	Gyakori	5A	5B	5C	5D	5E
4	Alkalmanként	4A	4B	4C	4D	4E
3	Csekély	3A	3B	3C	3D	3E
2	Valószínűtlen	2A	2B	2C	2D	2E
1	Túlzottan valószínűtlen	1A	1B	1C	1D	1E

1. ábra ICAO SMM Biztonságkezelési mátrix

A kockázatokat, mindig a lehető legalacsonyabb szinten kell tartani. Az ALARP alapelvei szerint, egy kockázat lehet „elfogadhatatlan” illetve „tolerálható”.

Elfogadhatatlan: az a kockázat, amely tekintet nélkül a tevékenység hasznára, költségeire, nem tolerálható, mert súlyos következményekkel jár. Ezt a kockázatot meg kell szüntetni vagy olyan mértékben kell csökkenteni, ami már a tolerálható kategóriába esik. Csak kivételes okokból kifolyóan folytatható a tevékenység vagy a gyakorlat.

Tolerálható: az a kockázat, melynek elviselésére az emberek általában fel vannak készülve. A tolerálható kockázat tulajdonképpen kontroll alatt tartható, értékelhető és az elfogadható legalacsonyabb szinten tartható.

BIZTONSÁG SZAVATOLÁSA [7]

A biztonság szavatolása a szervezet biztonságirányítási rendszerének záloga. Ahhoz, hogy fenntartsuk, folyamatos, szisztematikus megfigyelés, ellenőrzés, teljesítményértékelés szükséges. A vizsgálatok egy része arra szolgál, hogy megfelelő visszacsatolást kapjunk a rendszer hatékony működéséről, vagy éppen annak hiányosságairól. A teljesítményünk alapján fenntarthatók e a szervezet biztonsági politikájában kitűzött célok. Hatékony kommunikációt kell folytatni, annak érdekében, hogy bátorítsuk az eseményjelentések megtételét, még akkor is, ha azok a bejelentő számára elhanyagolhatónak és apróságnak tűnnek. A jelentett eseményekből, hozzunk létre egy adatbázist, ami lehetőséget ad azok további tematikus vizsgálatára, hiányosságok feltárására, módosítások és javaslatok megfogalmazására. Rendszerezük az eseményeket, azok bekövetkezésének okai alapján.

Amennyiben egy esemény kivizsgálása mellett döntünk, annak súlyossága, gyakori előfordulása vagy egyéb hátrányos tényezők miatt, a vizsgálat legyen átfogó és mindenre kiterjedő. Igyekezzünk meghatározni azokat a faktorokat, tényezőket, melyek hozzájárultak az esemény bekövetkezéséhez, ahelyett, hogy csupán magára a hibára koncentrálunk. Az aktív hiba, maga az esemény, ami hirtelen és váratlan módon következik be, ezzel megsérti a biztonságot és közvetlen módon ellentétes hatásokat vált ki. Ezért arra kell törekedni, hogy megtaláljuk az eseményt kiváltó okot vagy okokat,

majd javítsuk azokat a tényezőket, eljárásokat, ha szükséges teljes körű analizálást hajtsunk végre. Minden lefolytatott vizsgálatot és annak eredményeit meg kell osztani és el kell terjeszteni annak érdekében, hogy más üzemeltetők és felhasználók is megismerhessék.

A biztonság szavatolás eljárásainak kiemelkedő jelentősége van, ha szervezet addigi működésében változás történik. Új eszköz kerül beszerzésre, új eljárás bevezetésre vagy éppen új célokat, feladatokat tűz ki a szervezet. Ekkor a biztonsági garanciák akkor tarthatók, ha a változás előkészítésére és bevezetésére megvalósítási tervet készítünk, és annak egyes lépései mentén felülvizsgáljuk a biztonsági célokat, és ha kell, korrigáljuk a tervben rögzített adatokat.

BIZTONSÁG ELŐSEGÍTÉSE [8]

A biztonságirányítási rendszer egyik fontos pillére, amely egy erős biztonsági potenciállal bíró szervezet felépítéséhez járul hozzá. Eszközeivel előmozdítja a biztonsági szint növelését, hatékony kommunikáció útján terjeszti az ismereteket és biztonságot érintő információkat. A szervezeten belül felül kell vizsgálni, hogy milyen biztonsági, felfrissítő, ismeretújító képzésekre van szükség. Konkretizálni kell milyen képzésre van szükség, kiket érint a képzés, és az lefolytatható e szervezeten belül, avagy más oktatási intézményt kell megkeresni.

A képzés történhet előadás formájában, szemtől szembe, vagy akár távoktatás útján az intranet segítségével, információs körlevelek, bulletinek továbbításával. Létrehozható erre a célra egy korlátozott hozzáféréssel bíró könyvtár, de egyéb szembetűnő eszközök is szóba jöhetnek, mint a munkahelyen és pihenőkben elhelyezett posztterek, táblák, figyelemfelhívó plakátok.

A képzés magában nem nyújt biztosítékot arra, hogy elértük a kívánt célt. Meg kell vizsgálni a képzés hatékonyságát. Első lépésként visszacsatolásra van szükség a képzésben részt vevő részéről, hogy hasznosnak találták illetve számottevő tudásra tettek szert. Ezután egy olyan kérdőív kitöltésére kerül sor, amely mérhetővé teszi a képzés előtti és képzés utáni tudást, amit ideális esetben hat hónappal a képzés után újra megismételnek. Harmadik lépésként a képzés hatását kell megvizsgálni, hogy az milyen mértékben változtat a munkahelyi magatartáson. Arra kérdésre kell választ adni, hogy a képzésben résztvevők alkalmazzák e, a kívánt képességeket, tudást, magatartást a munkakörnyezetben. Végül realizálni kell a képzésből származó kézzel fogható előnyöket.

Mint az eddigi rendszerelemeknél is tapasztalható volt, a biztonság szavatolás eszköztárában is kiemelt szerepet kap a hatékony és mindenkire kiterjedő kommunikáció. Ez történhet írásos formában, internetes oldalon keresztül, rövid eligazítások alkalmával, üzenetek, „memók” formájában. Mindezek elősegítik, hogy a felmerülő hiányosságokra, nehézségekre, eseményekre a szervezet időben tudjon reagálni.

HUMÁN FAKTOR [9]

A technológiai fejlődés egyik mérföldkövének tartott UA fejlesztés, figyelemreméltó előnyökkel rendelkezik a hagyományos, ember vezette légi járművekkel szemben. Mivel az ember repülés közben jelentkező fizikai és mentális terheit is megkönnyíti, ezért okkal feltételezték, hogy csökkenteni fogja az emberi hibákból és tévedésekből bekövetkező eseményeket. Az iszlámábádi Műszaki és Alkalmazott Tudományok Intézetének kutatói a statisztikák alapján bizonyították, hogy nagyobb

számban fordulnak elő az UA balesetek emberi hibából fakadóan, mint a hagyományos légi járművek esetében. A kutatások céljára a DoD rendelkezésre álló, nyílt adatait használták.

*„A szabályok és a biztonságirányítási rendszer,
csupán mechanizmus marad,
míg a szervezet fel nem ismeri
a biztonságos magatartás értékét” [9]*

A pilóta nélküli légi járművekkel előforduló események vagy balesetek bekövetkezéséhez a következő faktorok járulhatnak hozzá [10]:

- veszélyes tevékenység;
- képesség alapú hibák;
- döntési hibák;
- szabályszegés;
- veszélyes tevékenységek előkészületei;
- észlelési hibák;
- CRM²³;
- veszélyes felügyelet;
- nem megfelelő felügyelet;
- az ismert problémák javításának elmaradása;
- felügyeleti szabályok megszegése;
- rendszerszintű befolyásolás;
- rendszerszintű eljárások.

A hibák az emberi lét velejárói. Természetes és hétköznapi dolgok, melyek bárkivel előfordulnak. Ahhoz azonban, hogy a hibák előfordulását a minimálisra csökkentsük, különösen egy ilyen veszélyekkel járó szakmában, mint a repülés, egy úgynevezett hiba toleráns rendszert kell felépíteni. A rendszer lényege, hogy az elkövetett hibák súlyosságát, olyan szinten kell tartani, ami még nem jár káros következményekkel.

A hibák megelőzésének egyik eleme a folyamatos kockázatfigyelés és elemzés. A kezelő személyzet akadályoztatásából előforduló hibák csökkenthetők a szigorú egészségügyi feltételek meghatározásával, rendszeres képzéssel és az egészséges életmód fenntartásával.

A hiba megelőzésére irányuló lépések a szervezet részéről a következők lehetnek:

- erősíteni a „checklist” szigorúbb használatát a memória korlátjainak leküzdésére;
- szabványosítani és egyszerűsíteni az eljárásokat;
- beazonosítani azokat a tevékenységeket és munkaköröket, ahol a fáradtság vagy figyelemzavar különösen veszélyes lehet és ezek leküzdésére alkalmazott technikákat megismertetni;
- ösztönözni az eseményjelentést;
- a személyes éberségtől való függőség csökkentése, automatizált rendszerek alkalmazása.

Az emberi tényező, mint biztonsági faktor erősítése céljából, az ICAO olyan képzéseket ír elő, melyek a pilótáknak és azoknak a személyzeteknek, akik repülésbiztonsági szempontból kockázatos munkát végeznek.

²³ Crew Resource Management-Személyzet Együttműködési Tréning

Ezt a képzés CRM-nek nevezik és a célja, hogy azokat a nem technikai jellegű képességeket erősítse, melyek elősegítik a hibák megelőzését, időbeni felismerését és a következményeit képesek legyen elhárítani. A CRM talán egyik legfontosabb eleme a személyzet között zajló hatékony kommunikáció elősegítése, a félreértések és félrevezető információk szűrése, valamint a személyzet tagjai közötti együttműködés erősítése. A nem technikai képességek közé sorolható a döntéstámogatás, szociális érzékenység, melyek hatékonyan kiegészítik a technikai tudást. Intézetünk UA kezelő tanfolyamainak tematikájában célszerű lehet megjeleníteni a CRM képzést is, mivel számos olyan eszköz van, többek között az állami célú légi közlekedésben, melynek üzemeltetésében kéttagú személyzet működik együtt.

ÖSSZEFOGLALÁS

A pilóta nélküli légi járművekkel napjainkban előforduló, néha hajmeresztőnek tűnő repülésbiztonsági szabálysértések ösztönözték a cikk íróit, hogy megvizsgálják, milyen módon lehet az általános biztonságtudatot erősíteni. Az intézetünk pilóta nélküli légi jármű szakszemélyzetet képzése lehetőséget biztosít számunkra, hogy az elméleti és gyakorlati foglalkozások alkalmával, erre a területre még nagyobb figyelmet fordítsunk. Ennek egyik módja, hogy intézetünk a gyakorlati képzések hatékonyabbá tétele céljából, pilóta nélküli eszközöket szerez be, így mi magunk is üzemeltetővé válunk. Mindez lehetőséget biztosít, hogy a szervezeten belül kialakítsuk a saját biztonsági kultúránkat és ennek szellemét, elveit és egyfajta követendő magatartást az oktatásban is át tudjuk adni az UA pilótáknak. A biztonságirányítási rendszer kialakítása, nem csak a nagy szervezetek sajátja, azért mert számukra jogszabály írja ezt elő. Az elvek, célok és módszerek egy ilyen kis szervezet számára is rendelkezésre állnak.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BÉKÉSI BERTOLD, HALÁSZNÉ TÓTH ALEXANDRA, PALIK MÁTYÁS, VAS TÍMEA: Aviation Safety Aspects of the Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV); Critical Infrastructure Protection Research: Results of the First Critical Infrastructure Protection Research Project in Hungary. 184 p., Switzerland: Springer International Publishing, 2016. pp. 113-121., ISBN: 978-3-319-28090-5
- [2] BOTTYÁN ZSOLT, TUBA ZOLTÁN, GYÖNGYÖSI ANDRÁS ZÉNÓ: Weather Forecasting System for the Unmanned Aircraft Systems (UAS) Missions with the Special Regard to Visibility Prediction, in Hungary, Critical Infrastructure Protection Research: Results of the First Critical Infrastructure Protection Research Project in Hungary. 184 p., Switzerland: Springer International Publishing, 2016. pp. 23-34., ISBN: 978-3-319-28090-5
- [3] BÉKÉSI BERTOLD, BOTTYÁN ZSOLT, DUNAI PÁL, HALÁSZNÉ DR TÓTH ALEXANDRA, MAKKAY IMRE, PALIK MÁTYÁS, RESTÁS ÁGOSTON, WÜHRL TIBOR: Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek: Második, javított kiadás; Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2015. 321 p., ISBN: 978-615-5057-64-9
- [4] CASA, Australian Government: SMS for Aviation practical Guide- Book 1 Safety management Basics; © 2014 Civil Aviation Safety Authority. First published July 2012; fully revised December 2014 (2nd edition)
- [5] CASA, Australian Government: SMS for Aviation practical Guide- Book 2 Safety policy objectives; © 2014 Civil Aviation Safety Authority. First published July 2012; fully revised December 2014 (2nd edition)
- [6] CASA, Australian Government: SMS for Aviation practical Guide- Book 3 Safety risk management; © 2014 Civil Aviation Safety Authority. First published July 2012; fully revised December 2014 (2nd edition)
- [7] CASA, Australian Government: SMS for Aviation practical Guide- Book 4 Safety assurance; © 2014 Civil Aviation Safety Authority. First published July 2012; fully revised December 2014 (2nd edition)
- [8] CASA, Australian Government: SMS for Aviation practical Guide- Book 5 Safety promotion; © 2014 Civil Aviation Safety Authority. First published July 2012; fully revised December 2014 (2nd edition)
- [9] CASA, Australian Government: SMS for Aviation practical Guide- Book 6 Human Factor; © 2014 Civil Aviation Safety Authority. First published July 2012; fully revised December 2014 (2nd edition)

- [10] MUHAMMAD ASSIM, DR NADEEM EHSAN, KHALID RAFIQUE: Probable causal factors in UAV accidents based on human factor analysis and classification system; 27th International congress of the Aeronautical sciences; ICAS 2010.

Basic of Safety Management System for UAS operators

Large numbers of researches concerning Unmanned Aviation, completed and currently in progress in Hungary. The group of the researchers investigated different areas of Unmanned Aviation, like its safety aspects, meteorological aspects and human factor. The results of researches were published in different national and international conferences, and also contributed to the beginning of the UA legislation in Hungary. The authors investigated that the ICAO Annex (safety management system) recommendations and CASA safety manuals, how could enhance the safety awareness of UA operators and owners.

Keywords: *safety management system, safety objectives, risks, safety assurance, safety promotion, human factor, incident*

Dr. PALIK Mátyás
alezredes, egyetemi docens
Nemzeti Közszerológati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
palik.matyas@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-2304-372X

PALIK Mátyás, PhD
Lieutenant Colonel, Associate Professor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
palik.matyas@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-2304-372X

VAS Tímea
őrnagy, tanársegéd
Nemzeti Közszerológati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
Repülésirányító és repülő-hajózó tanszék
vas.timea@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-0082-0370

VAS Tímea (MSc)
Major, Assistant professor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
Department Airspace Control and Pilot Training
vas.timea@uni-nke.hu
ORCID.ORG/0000-0002-0082-0370



<http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2016.pdf>

Bera József

MODERN REPÜLÉS, MODERN KÖRNYEZETVÉDELEM

A repüléstudomány eredményeit tekintve az emberiség egyik legrégebbi vágyát teljesítette Wilbur és Orville Wright egy 12 másodperces repüléssel 1903. december 17-én délelőtt. Ezt megelőzően 2–3000 éve Kínában jelentek meg az első sárkányszerkezetek és rakéták, míg Európában a XVIII. század végén a léggömb megjelenése, 1895-ben a léghajó szabadalma jelentett szenzációt. Wrighték 1899-es sárkányszerkezete óta eltelt időszak egészen napjainkig a repülés töretlen fejlődését hozta. Azóta a repülés az emberi élet meghatározó tényezőjévé nőtte ki magát, a hadászati célú repülőgépek mellett a polgári célú repülő eszközök használata ugrásszerűen terjedt, ma már modern repülésről beszélünk. A repülés egyik következménye azonban a környezetre gyakorolt hatás is, ami a repülés fejlődésével fokozatosan öltött egyre nagyobb mértéket, amit úgy írhatunk le, hogy a repülés egyik meghatározó kérdése 2016-ban a környezeti zaj és annak kezelése, mint modern környezeti probléma.

Kulcsszavak: modern repülés, modern környezetvédelem, környezeti zaj

1. BEVEZETÉS

A repülés és a repülőterek üzemeltetése általános megközelítésben negatív környezetvédelmi megítélést kap annak ellenére, hogy a légi közlekedés globális és társadalmi értelemben is megfogalmazott elvárásnak igyekszik megfelelni. Az elvárás, hogy a repülőgéppel való utazás a 21. században a személy és áruszállítás tekintetében is evidenciális lehetőség mindenki számára. Az elfogadottság alapja azonban egy olyan igény, amit a repüléssel, mint rendelkezésre álló közlekedési lehetőséggel szemben fogalmazunk meg, tehát a repülést napjainkban szükség-szerű emberi tevékenységnek tekintjük.

A repülés és a környezetvédelem kapcsolatából fakadó kérdések áttekintését nem a repülésnél vagy a környezeti ártalmaknál kezdjük, hanem az emberi tevékenységek szükségszerű folytatásánál. Ezt a megközelítést oda vezetjük vissza, hogy már az őskortól kezdve formálja a környezetét az ember, miközben olyan fejlődés részese, ami a környezet megismerése és a tudományos felfedezések nélkül nem jöhetett volna létre. A környezet megismerésének vágya részben a környezeti hatásokkal szembeni kíváncsiság kielégítése, mivel a megismerés útján védekezhetünk az ártalmas vagy veszélyes folyamatok ellen, de a megismerés útján teszi önmaga számára kedvezőbbé a világot az ember. Az ember tehát már a kezdetektől fogva ki van téve a környezetéből származó hatásoknak, ugyanakkor a civilizációs fejlődés vezetett odáig, hogy ma már a környezet is ki van téve az emberi tevékenységek hatásainak.

A repülésre, mint a civilizációs fejlődés egyik jelentős vívmányára az egyének és a társadalmak úgy tekintenek, mint a természetes és átlagos élet szükséges velejárója. A tevékenységet tekintve a modern repülés ma már képes az emberek utazási és szállítási igényeit magas színvonalon kielégíteni. Ez a képesség a környezethasználat alapján komplex tevékenységek sorozatát jelenti, több ponton is kapcsolódik más tevékenységekhez akár a termelés vagy a szállítás szükségleteit, akár az emberek utazási és pihenési szokásait vesszük alapul. Ez a több ponton való kapcsolódás már kiterjedt tevékenységi rendszerek kialakulásához vezetett, így a környezet használata is összetett folyamattá, ezáltal a környezetre gyakorolt hatás szükségszerűvé vált. Mindez a modern környezetvédelem kialakulását eredményezte.

2. RÖVID TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

A repülés iránti vágy mindig jelen volt az emberiség történetében, se szeri se száma azoknak a kísérleteknek, melyek az ember levegőbe emelkedését célozták. Minden bizonnyal már az ősember is eltöprengett azon, hogy a madarakhoz hasonlóan a levegőbe emelkedjen. A levegő meghódítása azonban nem bizonyult egyszerű feladatnak, hosszú idő kellett ahhoz, hogy az álmodozás valósággá váljon. Ehhez képest az ember számára a környezet védelme csak a 20. században jutott a tudatos cselekvés szintjére. Míg korábban a kényelem és a járványok kialakulása miatt foglalkoztatta az embereket a tiszta környezet szükségessége, ma már mindennapi feladatot jelentenek a valós környezeti problémák.

2.1. A levegő meghódítása

Természetesen az ember először a madarakhoz hasonlóan szeretett volna a repülni, de ehhez nem rendelkezett a szükséges adottságokkal, így megjelenítette a repülő isteneket, akik szárnyak segítségével, vagy állatok hátán repkedtek. Ahogy a görög mitológiában találunk a repülés képességével rendelkező ember formájú alakot, a ránk maradt írásos emlékek szerint a levegő meghódításának ilyen formájú képessége a későbbiekben is dédelgetett álmom maradt. Az biztos, hogy a légi utazás gondolata elsőként a madarakhoz kapcsolódott és az ember számára a madarak jelentették a példát a levegőbe emelkedéshez.

Az ember repülésének klasszikus megvalósulását a görög Daidalosz és Ikarosz története szemlélteti, mely utal arra is, hogy a repülés iránti vágy a fogságból való kiszabaduláshoz is kapcsolódott. Daidaloszt fogságba vetette Mínosz krétai király, a fogoly elmenekülését pedig úgy akadályozta meg, hogy a vizet és a szárazföldet őriztette. Ezáltal Daidalosznak csak a levegőn keresztül volt lehetősége a szökésre, amit úgy szeretett volna kihasználni, hogy fia, Ikarosz segítségével szárnyakat készített, melyben a tollakat viasszal és mézzel rögzítette. Útközben azonban Ikarosz azonban túl közel repült a Naphoz, miáltal a viasz megolvadt és a tollak kilapultak a szárnyakból, majd Ikarosz a tengerbe zuhant.

Miért adunk ekkora jelentőséget az ember kezdeti repülési vágyainak és azok megvalósításának?

A világ és a társadalmak fejlődésével a repülés iránti vágy újabb és újabb instrukciót kapott, az ember ismereteinek bővülésével a lehetőségek tárháza is egyre nagyobb lett, idővel a repülés eszméje kiegészült a realitással, ami eredményes megoldáshoz vezetett. Ha az ember a kezdeti úton haladva a motoros repülés helyett a madarakhoz hasonló repülési képességét fejleszti és sikerrel oldja meg ezt a problémát, talán környezetvédelmi vagy zajkérdések sem merülnének fel napjainkban.

Már a középkorból is maradt ránk olyan írás, ami arról tanúskodik, hogy mesterséges repülő szerkezet építését fontolgatták az akkori gondolkodók. Ezek a szerkezetek az ember által megszerkesztett szárnyak voltak, melyek csapdosták a levegőt. Ezek a kísérletek nem hoztak sikert a repülési vágyalom megvalósításában, így mi is továbblépünk követve III. Nagy Iván orosz cár és moszkvai nagyfejedelem (1440–1505) iránymutatását, amit egy bátor, de sikertelen repülési kísérlet után fogalmazott meg, miszerint „az ember nem madár, hogy szárnya legyen, ha mégis készít magának fából szárnyakat, a természet ellen cselekszik”.

A gondolkodók és a merész kísérletezők azonban nem hagyták annyiban a repülés problémáját, és dacosan tovább foglalkoztak a légi utazás gondolatával. Nagyon sok ötletet és vázlatot hagyott az

utókorra Leonardo da Vinci (1452–1519) itáliai polihisztor, aki már tudományos megközelítéssel vizsgálta a kérdést és technikai kihívásként kezelte a problémát. Leonardo da Vinci is a madarak röptét tanulmányozta, azonban gyakorlati kísérleteiről nincs tudomásunk. Kéziratait a kor szemléletének köszönhetően – akkoriban a levegő meghódítása azonos volt Isten birodalmi határának megsértésével – sokáig rejtegette, örökösei pedig nem fordítottak figyelmet a megismerésükre.

Leonardo da Vinci munkássága óta azonban ismereteink sokat bővültek, sorra láttak napvilágot azok az eredmények, melyek önmagukban ugyan nem bizonyultak világmegváltó felfedezésnek, de a maguk módján hozzájárultak a repülési képesség kifejlesztéséhez. Ezek közül meghatározó lehetett Alphonso Borelli (1649–1679) olasz fizikus megállapítása, aki egyben az orvosi fizika megalapítója. Az általa rögzített tétel szerint „az ember saját erejéből soha nem fog tudni repülni, mivel gyengék a mellizmai”.

A 19. században jött el a lehetőségek ideje a repülés terén, ekkor már szóba került a repülő szerkezetek létrehozásánál a gőz, a lőpor, a szénsav, a sűrített levegő és a benzin hasznosítása is. Ettől kezdve szélesebb palettán mozgott az emberi képzelőerő, ami a természeti erőforrások alkalmazására is kiterjedt. Nyugodtan kijelenthetjük, hogy ezek a kísérletek nem befolyásolták kimutathatóan a környezetet, még lokális mértékben sem, azonban a környezet használatának egyik ugródeszkájának tekinthetjük a gondolkodás ilyen irányú megváltozását és a motoros szerkezetek kifejlesztését.

A csapkodó szárnyú szerkezetek alkalmatlannak bizonyultak a repülésre és az ember légi úton való szállítására, az akkori gondolkodók azonban nem ingottak meg, ahogy Sir George Cayley (1773–1857) is folytatta a munkát, és úttörő szerephez jutott a siklórepülőgép felépítésével és a repülési stabilitás bebizonyításával. A siklórepülőgépek fejlesztésének azonban egyik akadálya volt, hogy hiányzott a meghajtáshoz szükséges erőforrás, melynek működése a kezdetekben a gőzgépen alapult. Az első szabadalom 1842-ben született meg, amikor William Samuel Henson angol mérnök (1812–1888) bemutatta az első gőzmeghajtású repülőgépet.

Nagy előrelépés a 19. század végén és a 20. század elején következett be, amikor Franciaország vált a repülőgép fejlesztés központjává. De említést kell tenni Alekszandr Fjodorovics Mozsajszkij orosz tengerésztiszt, ellentengernagy (1825–1890) találmányáról is, aki bizonyítottan 1882. július 20-án bemutatta néhány tíz méteres repülésre alkalmas motoros repülőszerkezetét. A repülőgépet egy 10 lóerős gőzgép hozta mozgásba és a levegőbe emelkedést követően 20–30 méteres távolságot tett meg.

A hivatalos iratok alapján a történelem első nyilvános motoros meghajtású repülését Wilbur Wright (1867–1912) és Orville Wright (1871–1948) hajtotta végre 1903. december 17-én az amerikai Kitty Hawkban, amit az első nyilvános repülésként tart nyilván a történelem. Orville 39 métert repült 12 másodperc alatt, Wilbur 279 métert repült 59 másodperc alatt. A *Flyer I* elnevezéssel említett repülőgépük 340 kg volt és egy 12 lóerős 77 kg tömegű motor hajtotta. Munkásságuk egyik jelentősége, hogy a repülőgép irányíthatóságára is hangsúlyt helyeztek, ami tartós repülést tett lehetővé. Sikereiket mutatja, hogy a világ legképzettebb vitorlázó pilótái voltak, illetve ők már repülőteret alakítottak ki Dayton közelében.

A motoros repülés ettől fogva fokozatosan tért hódított az egész világon, a motorgyártás és a

sárkányfejlesztés megélné, a minőségi jellemzők évről-évre javultak. Már a kezdeti fejlődési tendenciát is jól szemlélteti, hogy Igor Ivanovics Szikorszkij (1889–1972) Oroszországban tíz esztendővel az első repülőgép felszállása után, 1913-ban megépítette az első többmotoros repülőgépet. Az ő nevéhez fűződik az első többmotoros utasszállító repülőgép 1914-es megépítése is, de a Sikorsky R-4 volt az első sorozatban gyártott helikoptere 1942-ben. Megkezdődött tehát a repülés folyamatos fejlődése, amiből a magyarok sem maradhattak ki.

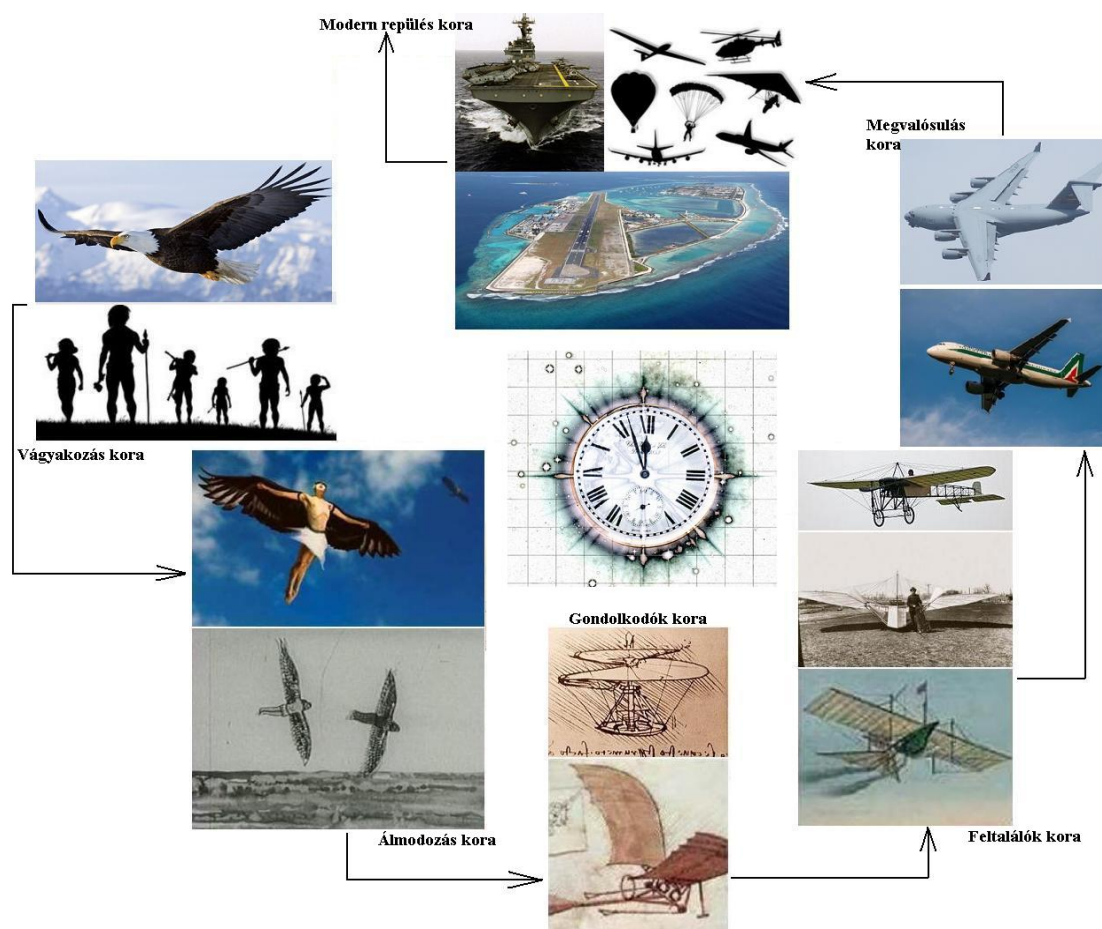
Magyarországon az első, repülőgéppel a levegőbe emelkedő ember a Budapestre látogató Louis Blériot (1872–1936) francia konstruktőr pilóta volt 1909. október 14-én. Ezt hamar követte egy másik, már magyar kötődésű esemény, 1910. január 10-én Adorján János (1882–1964) gépészmérnök felszállt az első minden szerkezeti elemét tekintve magyar tervezésű *Libelle* nevű repülőgéppel. A repülőgép kéthengeres és 18,4 kW-os motorját Dedics Ferenc tervezte és készítette. A legjelentősebb magyar géptervező-aviatikus Zsélyi Aladár (1883–1914) gépészmérnök volt, aki Magyarországon elsőként készített aerodinamikai és szilárdságtani számítások alapján repülőgépet, a *Zsélyi I.* nevű repülőgépével 1910. március 15-én emelkedett a levegőbe. Ezt megelőző fontos esemény volt Bartha Miksa (1853–1930) és Madzsar József (1876–1940) szabadalma a stabil és kormányozható emelő (helikopter) forgószárny kialakításáról.

Az első magyar vizsgázott pilóta Petróczy István százados (1874–1957) volt, aki 1910. szeptember 28-án nyerte el a címet. Később a Bécs melletti Fischamen-ben repülőkísérleti állomást hozott létre, ahova a Magyar-Osztrák Monarchia egyeteméről és tervezőirodából gyűjtötte össze a legjobb szakembereket. Ebben az intézetben kapta feladatul Petróczy István, Kármán Tódor (1881–1963) és Zurovecz Vilmos a helikopter kifejlesztését, ugyanitt az emelőlégszárny megtervezését és kivitelezését Asbóth Oszkára (1891–1960) bízták.

Az első sikeres kísérletek – hiszen több egymástól független kísérleti repülésről beszélhetünk az első próbarepülések alig egy évtizedes időszakában – óta egészen napjainkig jelentős fejlődésen ment keresztül a repülés, mondhatni, a repülés légi közlekedésé vált. A légi közlekedés az emberi tevékenységek mindennapos része, egy széles körben elfogadott és megszokott közlekedési forma, amit a világon mindenhol kihasználnak az emberek. A feltalálók példáját százával követték a kísérletező emberek, akik különféle szerkezeteket építettek a levegőbe való felemelkedéshez. Az első, majd a második világháború katonai repülése lendületet adott a repülésnek és a repülőeszközök felhasználásának, a harci és a később megjelenő vadászipülőgépek számos tapasztalattal bővítették a fejlesztők ismeretárát.

A második nagy világegyetem után ismét fejlődésnek indult a polgári repülés, melyben az Amerikai Egyesült Államok élen járt. A *Lockheed*, a *Boeing* és a *Douglas* repülőgépei például a piac elismert járművei lettek. Világszerte egyre több repülőgép épült, a szállítási teljesítmény, a repülési magasság és sebesség folyamatosan növekedett, megjelentek a korszerű sugárhajtóművek az egyre fejlettebb légszárnyas gépek mellett. A merevszárnyú repülőgépek mellett egyre több szerepet kaptak a forgószárnyas légi járművek is, a helikopteres repülés számos helyen a környezetbiztonság és a speciális szállítási feladatok eszköze lett.

A technikai fejlődés a 21. századra elért odáig, hogy a légi járművek fejlesztése mellett a repülőterek kialakítása és korszerűsítése is központi helyen szerepel.



1. ábra Egy álom megvalósulása és a modern repülés

A motoros repülés jelentette a nagy áttörést abban a folyamatban, ami a korszerű repülő megjelenéséig tartott, kifejlesztés helyett ma már a korszerűsítésükről és modern repülésről beszélhetünk. Az ember önmaga nem képes a levegőbe emelkedni, ezért kényes kérdés a repülőszervezetek és a motoros meghajtás alkalmazása. Az álom megvalósítása azonban ezen a ponton a környezettel és a természetes folyamatokkal is kapcsolatba kerül. A fejlődés folyamatát az alábbiak szerint célszerű rendezni:

- ➔ vágyakozás kora, amikor az ember még csodálva szemléli a madarak repülését;
- ➔ álmodozások kora, amikor a mitológia és a különleges tulajdonságokkal felruházott ember testesíti meg a repülést;
- ➔ gondolkodók kora a csapkodó szárny szerkezet megalkotásával, ötletek és vázlatok rögzítése tudományos megfigyelések alapján;
- ➔ feltalálók kora az első olyan szerkezet megépítésével, mellyel sikeressé vált a motoros repülés és az ember a levegőben maradt;
- ➔ megvalósulás kora a korszerű és az ember által elképzelt funkcióknak megfelelő repülőszervezetek megalkotásával, továbbfejlesztésével, a modern légi közlekedés kialakulása a repülőgép működtetésével és a repülőtér üzemeltetésével;
- ➔ modern repülés kora a 21. század igényeit megvalósító légi közlekedéssel.

Hogyan foglalható össze 2016-ban a repülés fejlődése az ember legelső álmaitól a modern repülés megvalósulásáig? A választ minden érdeklődő megtalálja az 1. ábra vonatkozó részleteiben.

2.2. A környezet védelme

Vajon kijelenthetjük-e, hogy az emberiség belefogott a környezet megóvásába? E tekintetben mit jelent a környezet, mit és mitől kell, vagy szeretnénk megóvni? Amennyiben a környezetvédelem történetén gondolkodunk, célravezetőbb az előző kérdések helyett azt áttekinteni, hogy milyen események okán vált szükségessé a környezet védelme, és ezek az események mikor következtek be?

Kezdetben az ember számára más élőlényekhez hasonlóan a természet jelentette a megélhetéshez szükséges élelmet és életfeltételeket. A gyűjtögetés, a halászat és a vadászat, a barlangokban talált menedék olyan lehetőség volt, amit a természet adott az embernek, a felhasználás módját tekintve nem jelentett beavatkozást a természetes folyamatokba. A kezdeti gyűjtögetés vagy a vadászat nem járt a levegő és a vizek szennyezésével, nem okozott zavaró hanghatásokat. Például ekkor még a hang informatív tartalma bírt jelentőséggel és a zavaró kellemetlen hanghatás jelentése ismeretlen volt.

Az őskorban a népsűrűség még igen alacsony volt, a feltárt leletek tanúsága szerint 0,03–0,05 fő/km². Ezért a természet gyorsan reagált az embertől származó hatásokra, a természetes eredetű környezetszennyezés – például por levegőbe kerülése vulkánok kitörésekor – volt a meghatározó az antropocentrikus szennyezéssel szemben. Az ember az őskorban csak annyit vett el a természettől, amit elfogyasztott, hiszen a hús és a gyümölcsök tartósítását nem ismerték.

A szükségletek biztosításához azonban egyre fejlettebb eszközök álltak rendelkezésre, a lakóhelyek megválasztásához időnként vándorlásba is kezdtek. Mindez magával hozta azt a képességet, hogy az ember nemcsak megfigyelte környezetét, de elkezdte azt átalakítani. Az átalakítás kezdetekben a szükségletek kielégítését célozta, jelentős beavatkozásra eszközök hiányában az ember még nem volt képes.

A környezet védelmének szükségességét az emberek, illetve a társadalmak talán akkor érezték át, amikor saját életminőségük romlását, betegségek és járványok kialakulását kellett meggátolniuk. A települések kialakulásával és a népsűrűség növekedésével már az ókorban is gondoskodni kellett a szennyvíz elvezetéséről vagy a hulladékok elszállításáról a lakókörnyezetből. Kezdetben a mosó- és fürdővizek utcára való kiöntése még elfogadott volt, de hamar kiderült a csatornázottság hiányából fakadó probléma. A bűz mellett a járványok forrásává is vált a szennyvíz, a hulladék, illetve a tiszta ivóvíz hiánya.

Az élhető környezet felismerése és a környezet megóvására való törekvés azonban még sokáig váratott magára.

A környezet megfigyelése természetesen kiterjedt az ember képességeit meghaladó jelenségekre és azokra az állati viselkedésformákra, melyek irigylésre készítették az embert. Ilyen jelenség volt a madarak repülése is. Szárnyak és a repülés képességének hiányában azonban az ember számára még sokáig vágyalom maradt a levegőbe való emelkedés, az ember földi megfigyelő maradt.

Mikor az állatok háziasítása megkezdődött, több olyan hatás is kialakult, ami a természet regenerálódását kívánta meg. Ekkor még nem kellett olyan mértékű szennyezéssel számolni, ami jelentős beavatkozásnak minősült volna, de a mezőgazdasági termelés, az állatok legeltetése és az egyre nagyobb mértékű növénytermesztés már maradandó változást jelentett a természetes környezethez

képest. Az a tény, hogy az ókortól kezdve a növénytermesztéshez, a háziállatok elhelyezéséhez és a települések kialakításához a környezet átalakítása jelentette a megoldást, ugrásszerű változást eredményezett az ember és a természetes környezet kapcsolatában. Ez a kapcsolat a középkorban már kiteljesedett, de tudatos környezeti cselekvésről még sokáig nem beszélhetünk.

A természet adta lehetőségek kiaknázása az ember számára minden korban – az ókortól kezdődően egészen napjainkig – erdőirtással, mocsarak lecsapolásával, folyóvizek elterelésével járt, és idővel rájöttek az öntözés hasznára és lehetőségeire is. A nagyobb települések, illetve a városok kialakulásával és az emberi igények szerint hasznosított területekkel ugyanakkor kialakult az épített környezet is, ami jellemzőit és az abból fakadó környezeti hatásokat tekintve már jól elhatárolódott a természetes környezettől. Kezdetben a közvetlen érintettség miatt az emberek arra a lokális környezetre fordítottak figyelmet, ami körülvette őket, illetve ahonnan az őket érő gyakori hatások származtak. Figyelmük kiterjedt minden olyan hatásra, ami az emberi életminőséget befolyásolta, így a kellemetlen hanghatások ellen is védekeztek.

A környezetbe való beavatkozás örök emberi cselekvéssé vált, ami megteremtette a modern környezetvédelem alapjait.

Ezek a beavatkozások azonban olyan folyamatokat is elindítottak, melyek kiszolgáltatást jelentettek a természeti hatásokkal szemben, a mezőgazdaságot tekintve az eróziós hatások kialakulása a környezetbe való beavatkozással már az ókorban megkezdődött. Azok a jelek, hogy egyes helyeken bevezették a teraszos földművelést, szabályozták az erdőkkel való gazdálkodást, valamint védekeztek a szél és a víz hatásai ellen, már arra utalt, hogy az emberi civilizáció elkezdett aggódni a környezetéért. Az aggodalom azonban még az embert érő hatásokat helyezte középpontba, a környezetszennyezési folyamatok felismerésére még senki nem volt képes, illetve nem is érezte senki ennek szükségességét.

Jelentősebb és környezettudatos magatartás kialakulásához a bányászat, a kohászat, valamint a nagyobb településeken keletkező szennyvíz- és hulladékmennyiség vezetett. A környezeti hatások elleni védekezéshez a technikai fejlődés számos találmányt adott – például csatornahálózat kiépítése –, ami a biztonságot és a kényelmet jelentette sokak számára, a betegségek elleni védekezésben segített, de több felfedezés a rombolás és a pusztítás eszközeit is megteremtette. A háborúk és helyi csatározások egyes esetekben jelentős környezetszennyezést is okoztak, a helyreállítással együtt a megváltozott és szennyezett környezet helyreállításáról is gondoskodni kellett.

Annak ellenére, hogy az emberiség történetének jelentős állomása volt a gőzgép feltalálása, ettől a ponttól és az ipari forradalomtól (1769 és 1850 között Nagy-Britanniában, majd Európa fejlett országaiban és Észak-Amerika egyes régióiban zajlott le) kezdve gyorsan mélyült a szakadék az ember-környezet viszonyban. Az ipari forradalommal azonosított változások elválaszthatatlanok a modern környezetvédelem kialakulásától. A modern környezetszennyezés a széntüzelésű gőzgép feltalálásával, valamint a textilüzemek gépesítésével elkezdődött, ezután gyorsan bekövetkezett a gőzhajtású hajók és a gőzvasút használata, ami további lendületet adott a fejlődési folyamatnak. Ezzel a fejlődéssel együtt az emberek számára kitért a világ, egyre nagyobb távolságokat tettek meg, az utazási szokások átalakultak.

Az 1871 és 1914 közötti időszak a technológiai érettség kora, amikor a vegyészet, az acél- és olajipar, valamint az elektromosság találmányai az emberi jóléthez szükséges áruk és termékek

tömeges előállítását is lehetővé tették. A szükségletek előállítása egyre több munkahelyet teremtett, egyben a szolgáltató szektor megjelenését is eredményezte. Ehhez az időszakhoz köthetjük a repülés kezdetét és az ember sikeres levegőbe emelkedését is.

Ekkor már a társadalmak struktúrája is megváltozott, a városok lakossága egyre nagyobb lett, ami azt is jelentette, hogy a mezőgazdasági önellátó lakosokkal szemben megjelent az ipari termelésből élő városiak tömege. A települések népesedésével azonban a közegészségügyi feltételek sok esetben nem álltak rendelkezésre, a rossz körülmények pedig kiterjedt betegségekhez és járványokhoz vezettek.

A széntüzelés elterjedése és ipartelepek létrehozása a légszennyezés helyzetét rontották. A városok döntően folyóvizek mellé települtek, illetve folyók mellett alakultak ki, így a lakossági és ipari szennyvíz ezekbe a folyókba került tisztítás nélkül, ami a vízszennyezés kiterjedését növelte. Az életszínvonal emelkedését és a népességnövekedés ütemének felgyorsulását eredményezte számos technikai vívmány, de a termékek tömeges előállítása és nagyobb távolságokra való szállítása, a kőolaj felhasználásán alapuló termelés a környezetszennyezési folyamatot megállíthatatlanná tette. Egyik következmény volt az iparosodás és a vegyipar miatt megjelenő ipari hulladékok megjelenése és mennyiségének folyamatos növekedése, illetve az ártalmatlanítás és elhelyezés hiánya.

Környezetvédelmi szempontból is jelentőséget tulajdonítunk az első és a második ipari forradalomnak. A második ipari forradalom 1871-től kezdődően a megkésett iparosodás kora, ami az erre a korra tehető tudományos felfedezéseknek hála számos eszközt adott az emberiség kezébe a gépesítés területén és jelentős ipari átalakuláshoz vezetett. A 19. század végére és a 20. század elejére azonban a fegyverkezési hajsza a világ mozgatórugója lett. Az új találmányok azonnal bekerültek a katonai felhasználás körébe, illetve számos találmányt köszönhetünk a hadiipari fejlesztéseknek. A második ipari forradalom végét az első világháború kezdete jelentette, amikor a háború következtében a gazdaság növekedése stagnált majd meg is szűnt, a hadiipar szükségletei diktáltak a technikai fejlődés terén.

A 21. században a környezetvédelmi gondok egyik oka a rendelkezésre álló energiahordozók felhasználása, hiszen a Föld évmilliók alatt képződött energiatartalékait nagyon rövid idő alatt használjuk el. Másik ok, hogy az energiahordozók felhasználása azok átalakításával történik, amit olyan technológiák tesznek lehetővé, melyek alkalmazása és működtetése további környezetszennyezéshez, illetve újabb kibocsátási formák megjelenéséhez vezetett. Természetesen ezek a technológiák azokon a tudományos felismeréseken alapulnak, melyek ideje a 19. század végére és a 20. század elejére tehető. A motorizáció hatalmas lökést adott azoknak a folyamatoknak, melyek a környezet érintettségét is jelentették.

A civilizációs fejlődés velejárója a környezet olyan mértékű használata, ami egyrészt igénybe veszi a környezet elemeit, kiaknázza az ember által kifogyhatatlannak hitt erőforrásokat, másrészt szennyező anyagokat juttat a környezetbe. E kettősség vonatkozásában meghatározó szempont, hogy az emberi civilizáció milyen mértékben változtatja meg az eredeti környezeti helyzetet, vagyis egy-egy tevékenység hatására mekkora változás következik be. A folyamat részeként egyre inkább hozzáadott terhelésről beszélünk a megváltozott alapállapot miatt.

A környezetben bekövetkező reakció tekintetében a 21. században már jelentőséget kap a környezeti állapottényező javulása, vagyis a pozitív hatás bekövetkezése is. Ma már olyan környezeti jellemzőkkel kell számolni, melyek kisebb-nagyobb mértékben igazodtak az emberi tevékenységek hatásaihoz, az eredeti természetes állapot jelentős részben eltűnt.

Tovább bonyolította a helyzetet, hogy a környezet érintettsége nemcsak az anyagi jellegű szennyezés következtében alakult ki, hanem a technikai fejlődés következtében energia jellegű kibocsátások megjelenésével és fokozódásával is egyre inkább számolni kellett. Ezek közül a szubjektív észlelés miatt azonnali reakciót kiváltó, legfontosabb hatás azoknak a hangoknak az összessége, amit zajnak nevezünk. A modern környezetvédelem egyik jelentős problémája az ember és a zavaró hangok közötti összefüggés, ugyanis a hangot az ember helytelen használattal alakítja át zavaró hanghatássá, hiánya is, túlzott mértéke is környezeti bizonytalanságot okoz.

A zaj azonban nem újkori probléma. A zajtól már az ókor embere is szenvedett. Marcus Valerius Marsialis (Kr. u. 38 vagy 41 – Kr. u. 104) ókori epigrammaköltő hátrahagyott írása szerint a város fárasztó és idegesítő, ezért az ifjabb Pliniushoz (Kr. u. 61 vagy 62 – Kr. u. 113) hasonlóan gyakran menekült el vidéki birtokára. Az ókori Rómában éjjel a részegek, reggel a pékek zavarták az alvást. Az utcák kövezettek voltak, ezeken a köveken hangosan csattogott a kocsik vasalt kereke. Az ókorban szokás volt a megunt tárgyakat kidobni az ablakon, ami szintén zajjal járt.

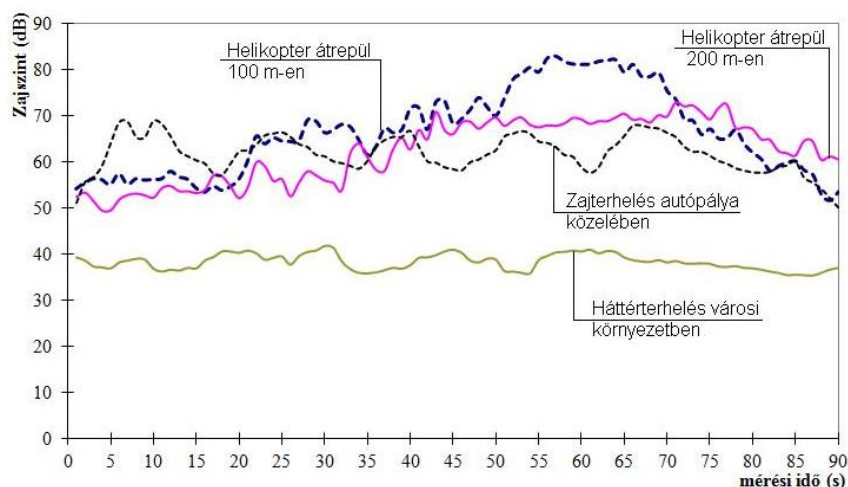
Seneca (Kr. e. 4 – Róma i. sz. 65.) természettudós és költő a lakása melletti fürdőre az alábbiak szerint panaszkodott: „akik ott súlyzókkal edzenek, azok nyögnek, zihálnak. Ha valaki éppen masszíroztatja magát, a masszőr tenyerének csattogása visszhangzik különböző hangokon, aszerint, hogy nyitott tenyérrel, vagy begömbítve paskolja éppen kliensét. Van, aki hangosan fecseg, veszekszik, vagy nagy lendülettel veti bele magát a vízbe. A szőrtelenítő kiabálva ajánlja szolgáltatásait és csak akkor hallgat, amikor valakinek a szőreit tépi, akkor viszont az ordít, akit kezelésbe vesz...”.

Marsialis szerint az alvás a városban luxus, amit csak a gazdagok engedhettek meg maguknak. Ez a kezdeti küzdelem a zaj ellen folytatódott a középkorban és az újkorban is, a 20. és 21. században a technikai eszközök széleskörű alkalmazása a zajt mindennapossá tette az ember számára. Míg a zajjelenség már az ókorban is környezeti problémaként jelentkezett, napjaink egyik modern civilizációs problémájaként maradt fenn.

A városok elzajosodását nagymértékben okozza a közlekedés, ami az eredetét tekintve annak tudható be, hogy a legtöbb ember nem ott van, ahol lenni szeretne, ezért folyamatosan változtatja helyét, ennek érdekében minden nap utazik. Az utazáshoz használt közlekedési eszköz, így a repülőgép ugyanakkor olyan zajforrás, melyre minden település sajátos zajhelyzetének egyik meghatározó elemeként tekinthetünk. A modern környezetvédelem számára a továbbiakban nem az lesz a kérdés, hogy a közlekedési zajforrás megszüntetése lehetséges-e, hanem a közlekedési eszköz a kérdés, így a légi jármű és a repülőtér működtetésének olyan irányú fejlődése, ami az idő múlásával kedvezőbb környezeti zajhelyzethez vezet.

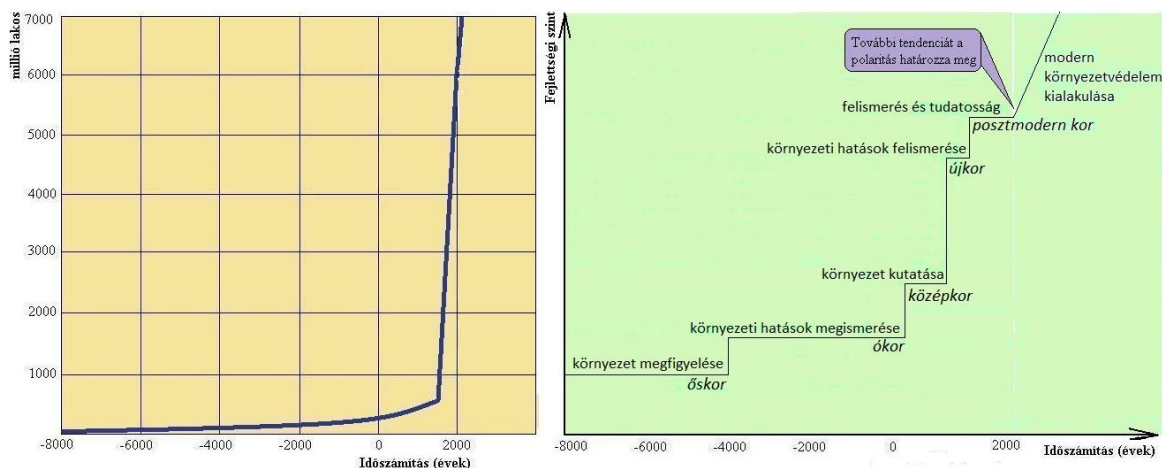
E tekintetben azonban számolni kell még egy tényezővel, ami a repülésre is kihat, az emberiség lélekszámának növekedésére. A népesség változásával együtt növekedett az utazási igény is, ami jelenlegi ismereteink szerint a továbbiakban is fennmarad. A közlekedés – ennek részeként a repülés – a jövőben egyre inkább hozzájárul egy-egy település hangképének kialakulásához.

A közlekedési eredetű általános zajterhelésre mutat példát a 2. ábra helyszíni mérési eredmények alapján.



2. ábra Közlekedési eredetű általános zajterhelés és városi háttérterhelés [1]

A francia forradalom kezdetén, 1789-ben alig egymilliárd ember élt a Földön. A Föld népessége azóta hétmilliárdra emelkedett. Ezt a népességet legfőképpen etetni kell, de lakhatást, biztonságot és megfelelő közegészségügyi körülményeket is kell biztosítani, ráadásul az emberek utazásairól is gondoskodni kell. Az utazási szokások a lehetőségek függvényében alakulnak ki, a technikai fejlettséget és a modern környezetvédelmet figyelembe véve ennek szerves része a repülés. A Föld népességének változását a környezetvédelemre kivetítve az ősidőktől kezdve a posztmodern korig a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra Föld népességének változása és a környezetvédelem fejlettségi szintjei

Ahogy a 3. ábrán látható, a nagyobb népességet magasabb szintű környezetvédelem szolgálja ki. Ezen a magasabb fejlettségi szinten egyrészt a környezetszennyezési és energia kibocsátási folyamatok, másrészt a rendelkezésre álló technológia – ide tartozik a repülés is – eredménye a modern környezetvédelem kialakulása. A légi közlekedés vonatkozásában eredmények generálása ugyanakkor csak abban az esetben lehetséges, ha a modern környezetvédelem és a repülés, mint környezethasználat ellenállása megszűnik.

3. REPÜLÉS ÉS KÖRNYEZETVÉDELEM ÖSSZEFÜGGÉSEI

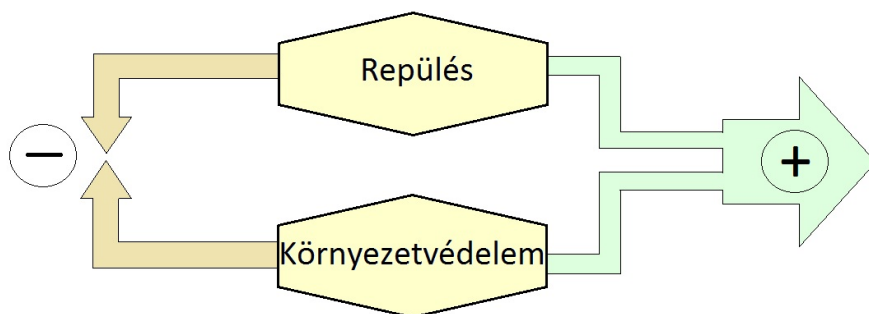
A környezet védelmére nem közvetlenül a repülés miatt van szükség, az ok, az ember vágyainak megvalósítása. A repülőgép csak eszköz a vágyak megvalósításához, ami a közlekedés részeként a 20. században, illetve a 21. század elejére jelentős fejlődésen ment keresztül. Általános értelmezés szerint a tudományos és technikai fejlődés korszakának tekintjük a 20. századot, amikor a társadalmak és az emberi élet alapvető átalakuláson ment keresztül. Ebben az átalakulásban már a környezet védelme is szerepet játszott, elsősorban a tudatosság kialakulása okán.

Az embert – ha nem is tudatosan vagy szándékos cselekvéssel – történelme során mindig foglalkoztatta a környezete, a környezeti hatások elleni védelem. Tény, hogy környezeti tudatosság kialakulása a civilizáció folyamata nélkül elképzelhetetlen lett volna, a valós környezetvédelem ugyanakkor közel 200 évet késett az ipari forradalom kezdetéhez (1769) képest, és 60–70 évet váratott magára az első működőképes repülőgép levegőbe emelkedését (1903) követően. A tudatos környezetvédelem kezdetének pontos dátuma nincs, e tekintetben az emberiség folyamatosan fejlődő cselekvési sorozatáról beszélhetünk.

Ennek a cselekvési folyamatnak a mozgatórugója, hogy a technológia – emberi képességeket megnövelő eszközök alkalmazása – környezetvédelem nélkül ellenszenvet vált ki a körülötte lévőkben, és mindig a közvetlenül érintettek emelik fel szavukat a környezetterhelés ellen. A modern környezetvédelem fő jellemzője ezért, hogy az újítás és a technikai fejlődés elfogadása ma már elképzelhetetlen a környezetvédelmi szempontok érvényesítése nélkül. Ez a tény természetesen érinti a repülést is annak minden részleteivel együtt a légi jármű működtetésétől a repülőtér üzemeltetésig. A repülés és a környezetvédelem kapcsolata azonban olyan problémakört alkot, ami külön figyelmet érdemel.

3.1. Környezetvédelem és repülés közös jövőképe

A modern környezetszennyezés, mint környezeti probléma kihat a repülésre is, ezért joggal merül fel a kérdés, miszerint merre tovább, hogyan alakul a környezetvédelmi jövőkép a repülés számára? Mivel a modern környezetvédelem alapja a „felismerés + tudatosság = fejlettség” összefüggés, a felismerés meghatározza a jövőbeni környezetvédelmi cselekvési irányokat. Nem elég tehát a környezetvédelmi szándék – annak ellenére, hogy szintén a modern környezetvédelem meghatározó eleme –, a környezeti hatások azonosítása és megismerése még sokáig előtérben marad. A cselekvési irány meghatározása a környezetvédelmi polaritás (ellentettség) alapján történhet, amit a 4. ábra szerinti kapcsolati hálóval azonosítunk.



4. ábra Környezetvédelmi polaritás a repülés vonatkozásában

A „környezetvédelmi polaritás” kifejezésnek jelen esetben az alábbiak miatt tulajdonítunk jelentőséget. A fizikai eredetű polaritás fogalmat abban az értelemben használjuk, hogy kettő szembenálló mozzanat a közöttük fennálló összefüggések miatt egymásra irányul. A meghatározott irányulás mindkét pólus alkotóeleme, korrelációban és feszültségi egységben állnak egymással. A környezetvédelem az ellentétes cselekvések összhangjára épül, hiszen a környezetbe való anyag és energia kibocsátás szükséges velejárója a tevékenységnek – esetünkben a légitársaság üzemeltetésének –, ami a környezet védelmére irányuló cselekvéssorozatot generál. Feszültség keletkezik a két ellentétes folyamatban, a polaritás egyfajta feszültségi egységet képez a két irány között.

A környezetvédelmi polaritás tehát a továbbiakban meghatározza, hogy a repülés fenntartásával, lokális értelemben egy repülőtér üzemeltetésével és légitársaság működtetésével kapcsolatban megfogalmazott tevékenység fenntartható legyen a szabályozó vagy korlátozó intézkedések mellett.

3.2. Repülés környezetvédelme

Más környezethasználatokhoz hasonlóan a légi közlekedés is összetett, időben változó hatást gyakorol környezetére, ezért minden esetben változó környezeti válaszreakciók alakulnak ki. A környezeti válaszreakciók fő jellemzője ebből adódóan a bizonytalan hatásmechanizmus, valamint a nem állandósult, instacioner állapot [1].

Mivel a környezeti állapotjellemzők a forráshoz hasonlóan befolyásolják a kialakuló terhelés mértékét, jellegét és sokszor az időtartamát, azt lehet kijelenteni, hogy

- a környezethasználat és a hozzá tartozó környezet kapcsolódási pontjai is bizonytalanok;
- a környezet is hatással van a kialakuló terhelés jellemzőire, azon keresztül pedig a kibocsátó forrásra.

A közlekedéstől – a légi-, közúti-, vasúti- és vízi közlekedést együttesen tekintve – származó környezetterhelés mértékét meghatározza, hogy a környezet állapota tartósan vagy véglegesen változik-e meg azon a területen, ahol egy adott közlekedési létesítmény megépül, és a tevékenység zajlik. A környezet állapota ugyanakkor ma már minden esetben megörökölt helyzet, hiszen számtalan, a környezetre valamilyen formában hatással lévő kibocsátó forrás létezik, az emberi tevékenységek helye, ideje és elterjedése végtelen. Hagyományos megközelítésben mégis olyan minőségben kap környezetvédelmi besorolást egy-egy környezethasználati tevékenység, így a repülés is, mintha egyedüli kibocsátó forrás lenne a környezet szempontjából.

Létezik olyan speciális helyzet, amikor az alábbi szempontok kiemelt szerepet kapnak egy közlekedési módozat értékelésénél, ezek:

- a rövidebb idejű és idővel megszűnő hatás kisebb eredő környezetterhelést jelent;
- a környezet állapota véglegesen, ismétlődően változik;
- a környezet állapotjellemzői visszaállnak az eredeti értékekre.

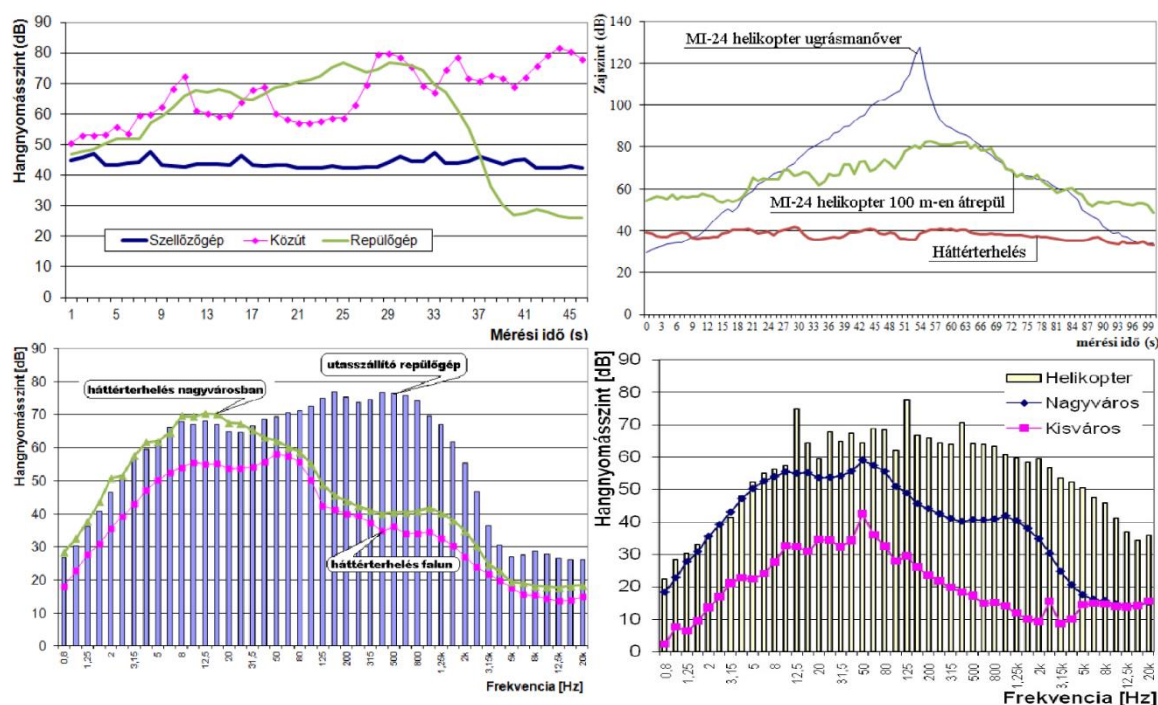
Ezek a szempontok főként akkor kapnak jelentőséget, amikor egy szállítást speciális körülmények között kell megoldani, esetleg nem áll rendelkezésre hagyományos szárazföldi közlekedési létesítmény adott feladat elvégzéséhez.

Amennyiben a speciális helyzeteket is nézzük, a légi közlekedés környezetvédelmi előnyeit ki kell emelni a többi közlekedési ágazattal összehasonlítva. Így például a területfoglalás mértéke

elmarad a közutak vagy a vasút helyszükséglete mellett, rövid idő alatt nagy távolságok áthidalását teszi lehetővé, a jelentősebb környezeti hatás többnyire a repülőterek környezetére terjed ki, a földtani közeg terhelése csak a repülőtér területét érinti.

Létezik olyan helyzet, amikor a szállításra vagy a feladat végrehajtására a repülés lehet az egyedüli alternatíva. A természetvédelmi területekre való időszakos berepülés kisebb beavatkozást jelent a szárazföldi vagy vízi közlekedési eszközök alkalmazásával szemben olyan körülmények között, mint árvíz, szúnyoggyérítés, katasztrófa elhárítással összefüggő feladatok ellátása, vagy vezetékek ellenőrzése.

Ezen a ponton említést kell tenni a *Repülési Lexikon* [2] zajcsillapítás címszó alatt olvasható megfogalmazásáról, miszerint „A zajcsillapítás napjaink repülésének egyik legfontosabb kérdése”. Repüléstől származó zajterhelésre látható példa az 5. ábrán.



5. ábra Repüléstől származó zajterhelés értékek [1]

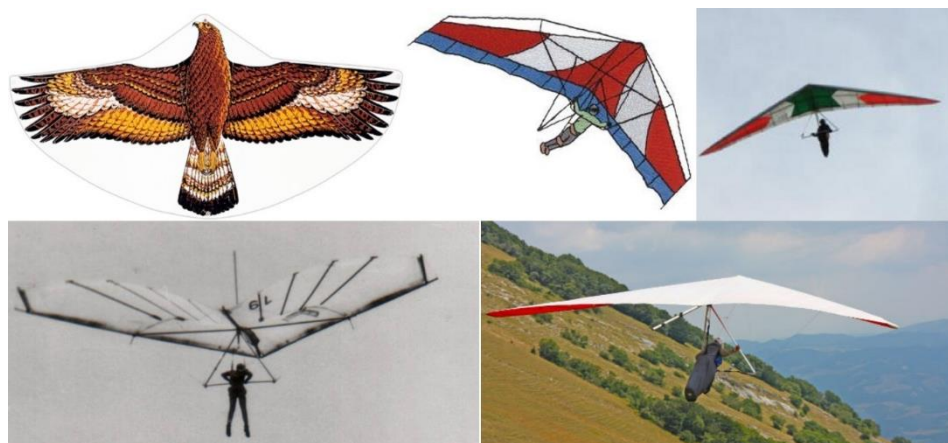
A *Repülési Lexikon* kiadása óta a légi közlekedés megítélése a környezeti hatások vonatkozásában csak keveset változott, ez a változás nem érinti azt a tényt, hogy a zajterhelés és a zaj elleni védelem még mindig első helyen szerepel a repülés és a környezetvédelem közös jövőjében. Ennek felel meg napjaink társadalmi igénye is, ami a környezeti hatások között kiemelt figyelemmel kezeli a zajterhelést és a zajcsökkentési folyamatokat.

A légi közlekedéstől származó zaj a lakóterületek közelében végzett átrepülések, illetve fel- és leszállások következtében erősíti ezt az igényt az érintett társadalmi csoportok részéről. A repülési zaj csökkentése a repülőterek vonatkozásában azonban csak olyan eszközökkel és beavatkozások útján lehetséges, melyek a repülésbiztonságot is érintik. A repülés környezetvédelmében tehát prioritást kap a zaj, ezáltal mind tervezői és gyártói oldalon, mind üzemeltetői oldalon a repülés jövőjének része marad a zajprobléma kezelése.

3.3. Zajcsökkentett repülőgép

A repülőgépzaj csökkentésének érdekessége, hogy a probléma visszavezethető az ember korlátaira, melyek közül meghatározó, hogy az ember önmagától nem képes a levegőbe emelkedni. Ezért a repülés, mint vágyalom csak úgy válhatott valósággá, hogy az ember olyan repülő szerkezet épített magának, amit motorral, illetve hajtóművel működtet. Amennyiben sikerül olyan megoldást találni, ami a madarak repüléséhez jobban hasonlít, valamint nélkülözi a jelenleg széles körben elterjedt hajtóműveket, a zajjal is más lesz a helyzet.

E tekintetben nem szabad elfejteni a sikló- és a sárkányrepülés, illetve a vitorlázó repülést, melyek hajtómű nélküli repülő szerkezetek nélkül teszik lehetővé az ember levegőbe emelkedését. Szemléltetése a 6. ábrán látható. Mindegyik módszer lényege, hogy olyan légtömeg segítségével vesszük igénybe, mely a környezeti levegőnél gyorsabban emelkedik. A mai sárkányrepülő a siklórepülő egyik típusa, melynek érdekessége, hogy története visszanyúlik az ókorba. Egyik fajtája a motoros sárkányrepülő, ami jellegzetes zajáról már messziről felismerhető.



6. ábra Levegőbe emelkedés hajtómű nélkül

A légi teher- és utas szállítás, illetve a nagy teljesítményű repülések számára azonban egyedüli lehetőség a hajtóművel épített repülőgép. A repülőgépmotor és a repülőgép hajtómű a repülőgép működtetéséhez szükséges vonó- és tolóerő előállítását teszi lehetővé, helikopterek esetében a felhajtóerőt biztosítja. Hajtóművekre szemléltetünk példát a 7. ábrán.



7. ábra Repülőgép hajtóművek szemléltetése

A hajtóművel épített repülőgépek működése azonban zajjal jár a hasonló járműszerkezetekhez hasonlóan, ráadásul a repülést befolyásoló egyéb követelmények miatt a műszaki zajcsökkentésnek számos akadálya van. A műszaki zajcsökkentés a repülőgépeknél olyan speciális feladat, ami csak a fejlesztési folyamat szerves részeként végezhető el, utólagos beavatkozásra alig van lehetőség. Mindettől függetlenül az elmúlt 25 évben azért történt előrelépés a repülőgép hajtómű zajcsökkentés területén, a jelenleg ismert adatok szerint egyes gyártók 8–12 dB-es zajcsökkentést értek el az új repülőgépeknél.

Ilyen mértékű zajcsökkentésre a korszerű járműszerkezeti megoldások kínálnak lehetőséget. Ebből adódóan a fejlesztések egyik feladata olyan repülőgépek létrehozása, melyek zajkibocsátása alacsonyabb a korábbi hajtóművek zajához képest. A légi járművek fő zajforrása a hajtómű és a repülőgépváz, helikoptereknél a hajtómű mellett a fő- és hátsó légsavarak. A zajkibocsátást ezen belül meghatározza hajtómű esetén a szívási zaj, a kompresszor zaj, az égési zaj, a turbinazaj, a hajtómű burkolófelületéről lesugárzott zaj, a gázsugárzaj [3].

A korszerű repülőgépek zajkibocsátásában jelentős szerep jut a gázsugárzajnak. A ventilátor- és kompresszor zaj esetén a ventilátorokra irányadó általános elvek érvényesek, azonban a nagy szállítási teljesítmények következtében a zajteljesítmény-szintek mértéke és a tisztahang összetevők súlya megnövekszik. A turbinazaj összetevők elsősorban a magasabb frekvencia spektrumokban jelennek meg, a leszállási és felszállási zajszintek közötti különbségek határozottak a mérési eredményekben, illetve ez a hatás szubjektív megfigyeléssel is kimutatható. Az égési zaj általában nem tartozik az eredő zajszintet meghatározó zaj-összetevők közé, a turbóventilátoros repülőgépeknél azonban a leszálláskor meghatározó a hátrafelé lesugárzott kisfrekvenciás zajszintek miatt.

Kedvezőbb zajkibocsátású repülőgépek építését teszi lehetővé a hajtómű burkolat zajcsökkentést eredményező kialakítása. Erre példát a 8. ábrán szemléltetünk. A burkolatok megfelelő anyag alkalmazása és helyes kialakítás esetén a hangterjedést akadályozzák, ezáltal a hajtómű felületei által lesugárzott zajkibocsátást csökkentik.



8. ábra Különböző burkolattal épített repülőgép hajtóművek

Azáltal, hogy a fejlesztések során szinte minden repülőgép típus esetén csökkent a hajtóműzaj, a repülőgépvázzal szembe fordított zaj jelentősége megnövekedett. A repülőgépváz-zajt, illetve az aerodinamikai zajt elsősorban a törzs, a törzs üregei, az irányítófelületek és a futómű-felületek hatására fellépő áramlási rendellenességek idézik elő. Nagysága függ a repülőgép sebességétől, a szárnyfelület nagyságától és kialakításától, a felszállótömegetől, a szárnyélek kialakításától, valamint azoktól

az elemektől, melyek befolyásolják a légellenállást. A fel- és leszállási sebességek mellett a repülőgépváz nagysága elmarad a hajtóműzaj nagyságától, de a hajtóműzaj további csökkenése esetén a repülőgépváz-zaj a légi jármű zajkibocsátásának meghatározó elemévé válhat.

Repülőgépek esetében több jelző is elterjedt, amit zaj vonatkozásában használ a szakirodalom és a köznyelv. Zajos, zajosabb, halkabb, csendesebb üzemű. Mivel a repülőgép, illetve annak egy részegysége zajforrásnak, vagy rész-zajforrásnak minősül, zaj vonatkozásában is zajkibocsátásról beszélünk. Ennek megfelelően zajcsökkentésnél *kedvezőbb zajkibocsátású* repülőgépről, illetve repülőgép hajtóműről lehet szó.

A repülőgép hajtóművek zajcsökkentésére minden igényt kielégítő – sokan a zaj teljes eltüntetését tartják kívánatosnak – eredményező megoldás nem létezik. Kérdés, hogy ehhez forradalmian új hajtóműrendszerre van szükség, vagy meglévő hajtóművek konstrukciós fejlesztésével lehet eredményt elérni? A választ jelenleg az időről-időre a nyilvánosság elé kerülő olyan konstrukciós újítások alapján adhatjuk meg, melyek a korábbiakhoz képest kedvezőbb zajkibocsátású repülőgép megjelenését teszik lehetővé.

A *Deutsche Lufthansa AG* német nemzeti légitársaság 2016. január 20-án vette át első Airbus A320neo típusú repülőgépét, melynek Hamburg és München lesz az első két repült városa [4]. A repülőgép a 9. ábrán látható.



9. ábra Airbus A320neo kedvezőbb zajkibocsátású repülőgép [4]

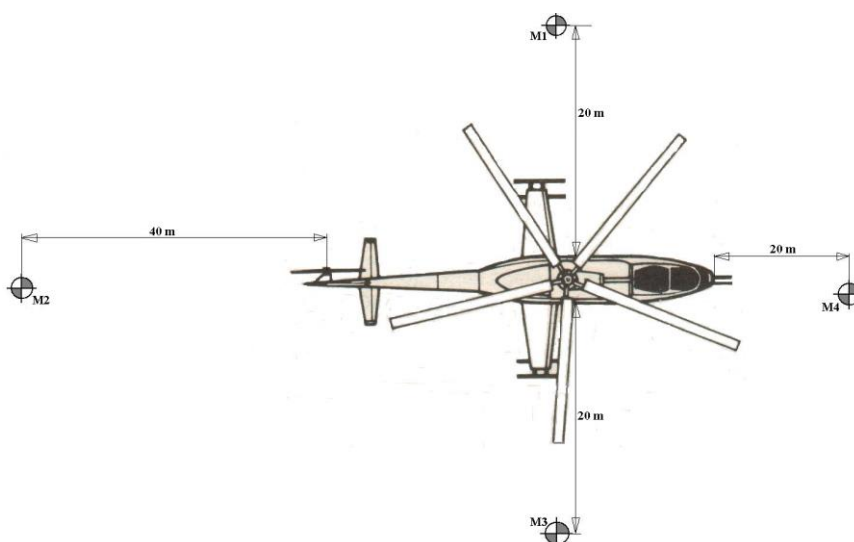
Az *Airbus S.A.S* repülőgépgyártó vállalat és a *Pratt & Whitney* vállalat repülőgép hajtóműveket gyártó leányvállalata által alkalmazott technológiával a hatékonyság mellett igen kedvező zajkibocsátású – más repülőgépekkel összehasonlításban csendesebb üzemű – repülőgépet sikerült építeni. A zaj mellett említést kell tenni a légszennyezőanyag kibocsátásról is, mivel alacsonyabb üzemanyag-fogyasztás mellett kisebb szén-dioxid kibocsátással üzemelő repülőgép hajtóműről van szó.

A „neo” előtag az új hajtóművet jelenti, azaz New Engine Option. A rendelkezésre álló mérési adatok alapján a repülőgép 15%-al kedvezőbb üzemanyag hatékonysággal működik, mint a mai repülőgépek. Hasonló eredmény jellemzi a repülőgépet zajkibocsátás vonatkozásában, 85 dB-es legnagyobb felszálláskori zaj volt kimutatható, ami csökkenést jelent a jelenlegi A320 típushoz képest. Mindez az új hajtómű technológiának köszönhető. A repülőgépet PW1100G hajtóművel

látták el, amely egy úgynevezett *Geared Turbofan* megoldással rendelkezik, és jelentősen csökkenti a zajkibocsátást és az üzemanyag fogyasztást. További fejlesztés az örvénygenerátor hajtóműbe való beépítése, ami további zajcsökkentéshez vezet.

Helikopterek zaját a hajtómű mellett a fő- és a hátsó légcsavarlapát elhaladási frekvencia-összetevői határozza meg, ami a légcsavarok működéséből eredő szélessávú zajból jelentősen kiemelkedik. A környezetben okozott zaj nagyobb szintértékkal lép fel a helikopter emelkedésénél, amit a lapát elhaladási frekvenciás zaj összetevők időszakos emelkedése okoz a légcsavarlapát végén leváló örvény következtében. A kiemelkedés átlagos értéke 10–15 dB. A helikopterek működése jellemzőit tekintve a járműszerkezeti zaj csökkentésére korlátozottan nyílik lehetőség.

Helikopterzaj méréséhez kijelölt vizsgálati pontok elrendezését szemlélteti a 10. ábra. A vizsgálatba vont *Mi-24 Hind* típusú helikopter működésétől származó zaj mérése ebben az esetben 4 db ponton történt, magasságuk $h = 1,5$ m talajszint felett. A mérési eredmények rögzítésére alapjáratú és felszálló (függeszkesedés 15 m-en) üzemmód mellett került sor. A mérési eredmények összefoglalása az 1. táblázatban látható.



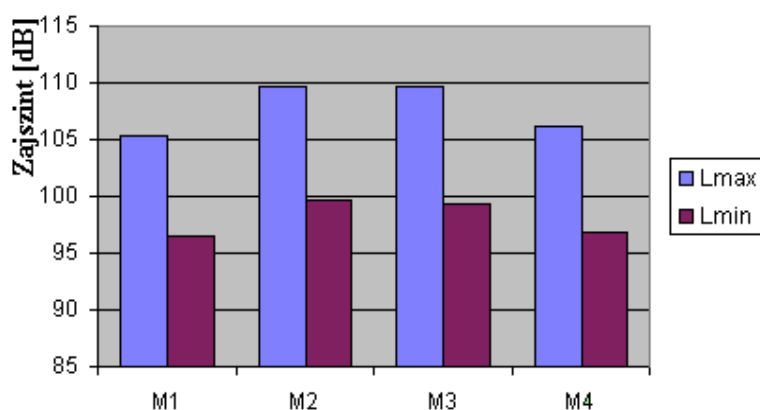
10. ábra Zajmérési pontok elhelyezkedése helikopter környezetében [5]

Álló helyzeti üzem							
M1		M2		M3		M4	
$L_{max.}$	$L_{min.}$	$L_{max.}$	$L_{min.}$	$L_{max.}$	$L_{min.}$	$L_{max.}$	$L_{min.}$
100,5 dB	92,4 dB	105,7 dB	99,9 dB	104,2 dB	95,7 dB	105,8 dB	95,9 dB
Függeszkesedés 15 m-en							
M1		M2		M3		M4	
$L_{max.}$	$L_{min.}$	$L_{max.}$	$L_{min.}$	$L_{max.}$	$L_{min.}$	$L_{max.}$	$L_{min.}$
105,3 dB	96,5 dB	109,6 dB	99,7 dB	109,7 dB	99,4 dB	106,1 dB	96,9 dB

1. táblázat Legnagyobb és legkisebb zajszint értékek helikopter környezetében [5]

Az 1. táblázat alapján látható, hogy mind álló helyzetben a kisebb hajtómű teljesítménynél, mind függeszkesedésnél a nagyobb hajtómű teljesítménynél a hangtér fő irányában egyaránt jelentős eltérések mutatkoznak a legnagyobb és legkisebb hangnyomásszint értékekben. A helikopter hátsó és jobb oldalán kimutatható magasabb értékekben például a hajtómű és a fő légcsavarlapát működése mellett jelentős szerepe van a farok légcsavaroknak, ami a baloldali elhelyezésből, illetve

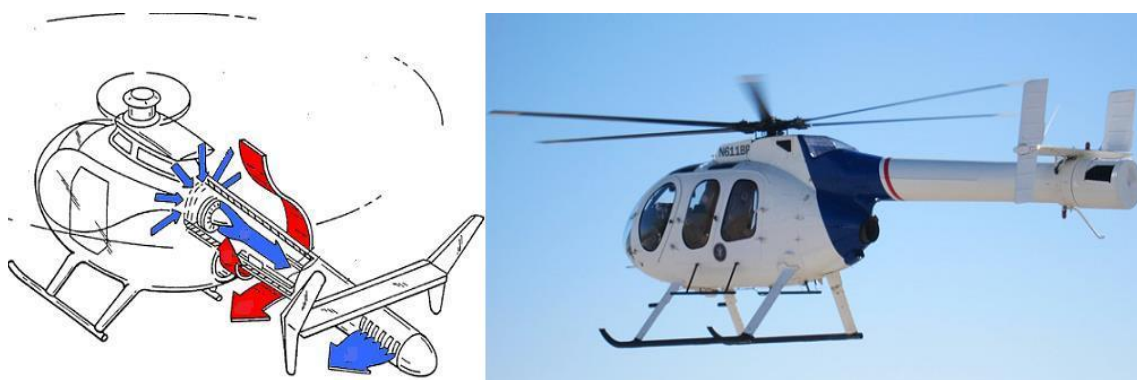
ebből adódóan a szívó-nyomó irányból adódik. Emellett a helikopter bal- és jobb oldalán a minimum értékek változása alapján következtethetünk arra, hogy induláskor mekkora időszakban növekszik meg a hajtóműtől származó zaj szerepe az eredő zajkibocsátásban, míg álló helyzetben elsősorban a légszavarlapátok zaja dominál. A rész-zajforrások működési jellemzői miatt a kialakuló hangtér baloldalán és első részén, illetve a hangtér hátsó részén és jobb oldalán mutatható ki közel azonos mértékű és jellegű zajszint. Álló helyzet üzemmódban a helikopter mögött kisebb zajszint értékek alakulnak ki, ami a hátsó légszavar működéséből eredő zaj változását mutatja. A zajszintek összevetését függeszkedésnél a 11. ábra szemlélteti.



11. ábra Helikopter környezetében mért legnagyobb és legkisebb zajszint értékek összevetése [5]

A bemutatott zajszint értékek alapján indokoltak azok a kutatások, melyek a helikopterzaj csökkentését célozzák. A kutatások mindeddig kevés eredménnyel jártak, de nem nevezhetők sikertelennek. Minderre példa a McDonell Douglas Helikopter System által kifejlesztett NOTAR (NO TAIL Rotor) helikopter rendszert, ami a hátsó légszavar elhagyásával jelentős mértékben csökkentette a lesugárzott zajt. Nincs hátsó légszavar, helyette irányított levegőáramlást és hátréteg elszívást alkalmaz a rendszer, ezáltal a kialakuló Coanda-hatást használja ki. A Coanda effektus lényege, hogy a szilárd test felszínét a test körül áramló levegő követi egy pontig, amikor leválik az áramlás. Ezáltal a testtől távolabbi ponthoz képest nyomáskülönbség alakul ki és létrejön a test felületén ható felhajtóerő. Annál nagyobb a felhajtóerő, minél nagyobb a sebesség és a hatással érintett test felülete.

A NOTAR rendszerrel épített helikopterek a világon a legkedvezőbb zajkibocsátású helikopterek. Szemléltetése a 12. ábrán látható.



12. ábra NOTAR rendszerű helikopter

3.4. Zajcsökkentett repülés

A zajcsökkentés további lehetősége a repülési manőverek olyan szervezése és irányítása, hogy a repülőgépek által kibocsátott zaj elsősorban a lakott területek felett, minimális legyen. Zajcsökkentett repülés „a repülőtér környezetében a felszállás után, illetve a leszállás előtt a repülési pályának és/vagy a hajtómű üzemmódjának megváltoztatása a teljesítmény és gazdaságosság szempontjából optimálishoz viszonyítva a repülőtér környezetében bizonyos területeken fellépő zajszint csökkentésére” [2].

Napjainkban a lakosság egyre érzékenyebb a környezeti zajhatásokra, elutasítással kezeli a számára kellemetlen zavaró hanghatásokat. 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 repülésekre helikopter leszállóhelyek esetében szinte minden esetben lakóterület felett és lakóházak közelében kerül sor, ami elsősorban a repülési feladat jellegére – mentési feladat, katasztrófa elhárítás, személyszállítás – vezethető vissza. Különböző repülőtereket és leszállási helyzeteket szemléltet a 13. ábra.



13. ábra Különböző repülőterek és leszállási helyzetek

A zajhatáshoz kapcsolódó konfliktushelyzet feloldásának és későbbi megelőzésének hatásos eszközeként általában a zajvédelmi programok megvalósítását tartja a közvélemény, de az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy ezek végrehajtása nehézkes, több olyan akadályba ütközik, amit a repülőterek üzemeltetői nem tudnak sikeresen leküzdeni. Mégis a jogalkotás meghatározó elemévé vált az elmúlt 10–15 évben, a hatósági munka is erre épül. A zajvédelmi programok központi eleme a repülési eljárások olyan módosítása, ami a repülőtér környezetében csökkenő zajterhelést eredményez.

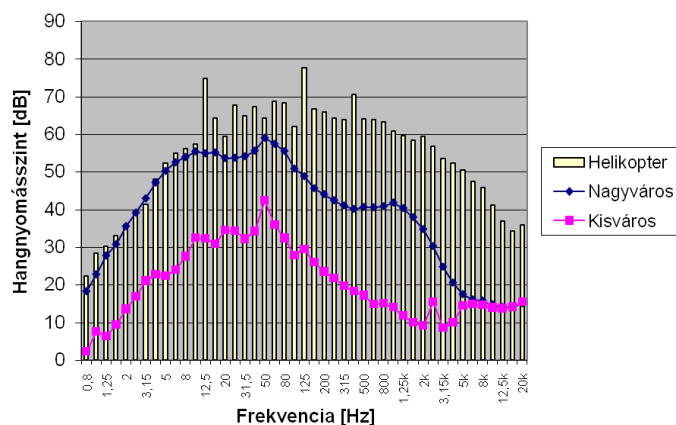
Zajcsökkentő üzemeltetési eljárás része lehet a meredekebb emelkedés, a kisebb hajtómű-teljesítmény, a szárnymechanizáció-kitérítés, a szárnymechanizáció késleltetett működtetése leszálláskor. Ezek már a repülési módozatokba való beavatkozást jelentik, más megfogalmazásban a zajcsökkentett repülés megvalósítását célozzák.

A zajcsökkentett repülés túlmutat a légi jármű zajkibocsátási jellemzőin, vagyis a hajtómű vagy a vázszerkezet által lesugárzott zajkibocsátás mértékén. A repülés ugyanis a légi jármű működtetése mellett összefüggésben van a repülőtér vagy leszállóhely üzemeltetésével is, ami a légi

forgalomszervezési és irányítási feladataira is kiterjed.

A repülőgépzaj az észlelése a környezeti zajból való kiemelkedés, a legnagyobb értékig való fokozatos növekedés, és a repülőgép távolodásakor a környezeti zajban való eltűnés. Ezt a folyamatot több tényező is befolyásolja.

Repülési zaj vonatkozásában a környezet adottságait tekintve a háttérterhelés lesz a meghatározó. A háttérterheléstől is függ, hogy adott területen, a szubjektív módon észlelt zajszintekből milyen mértékben emelkedik ki a repülési zaj, vagyis az alapállapotú zajhelyzetet mennyiben változtatta meg a repüléstől származó, időegység alatt fellépő zajterhelés. Ez elsődlegesen a beépítettség függvénye, mivel a területen működő egyéb zajforrások jellege és száma a terület-használattól függ. Fontos megjegyezni, hogy sok esetben a zajforrások hiánya miatt nem is beszélhetünk háttérterhelésről, amire az alacsony átlagértékekből következtethetünk. Két különböző terület zajállapotára és egy helikopteres átrepülésre mutat példát a 14. ábra. A repüléstől származó zajszintek a leszállóhelytől 50 m-re kijelölt észlelési pontra vonatkoznak leszállás – állóhelyi üzem – felszállás manőver során.



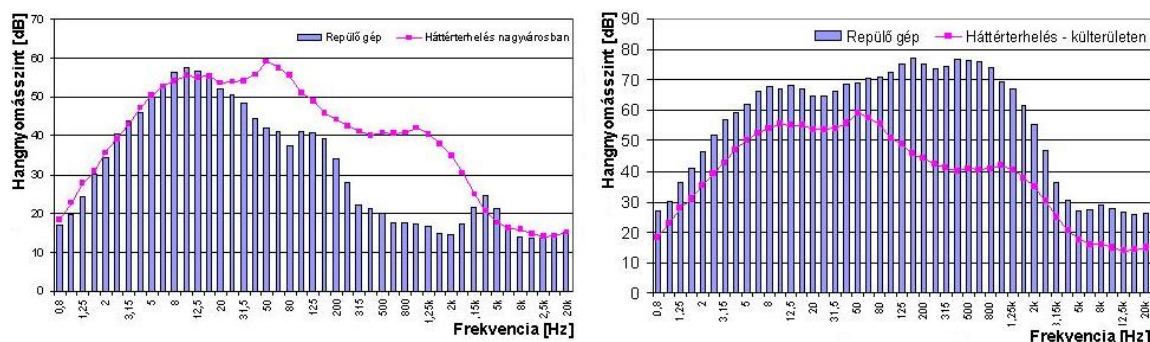
14. ábra Háttérterhelés zajértékek és helikopteres repülés zajszint értékei a frekvencia függvényében [6]

A 14. ábra alapján jól látható, hogy a csendesnek tartott, közlekedési- és gépzaj nélküli környezetben kimutatható zajszintekhez képest egy helikopter leszállóhelytől és a repüléstől származó zaj jól elkülöníthető módon észlelhető, meghatározza környezetének – esetenként módosult – zajhelyzetét.

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.

A repülési manőverektől származó zaj repülőterek környezetében, illetve az érkező és a távolodó teher- és utasszállító repülőgépek – például a maximális felszálló tömeg meghaladja az 5,7 t-át – miatt fellépő zajterhelés szempontjából is számos problémát okoz. Az utazási magasság eléréseivel a földi észlelési 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.

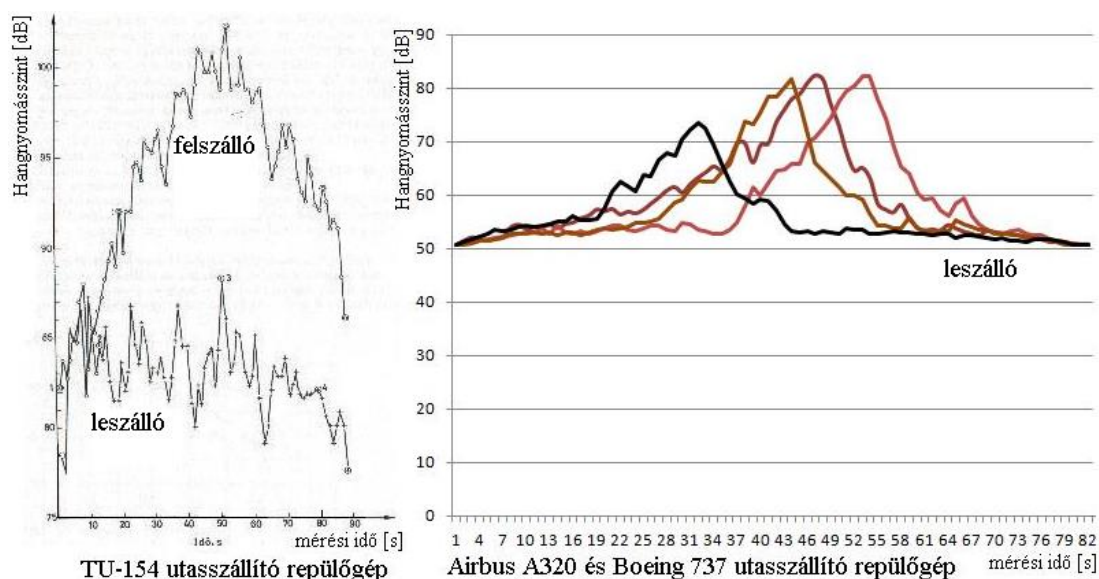
Erre mutat példát nagyvárosi területen, valamint falusias lakóterület szélén kimutatott hangnyomásszint értékek alapján a 15. ábra.



15. ábra Utasszállító repülőgéptől származó zaj eltérő környezetben [6]

A repülési zaj csak nevében vonatkozik a repülőgéptől, illetve a helikoptertől származó zajszintekre, a valóságban a repülési manőver zajszint értékeit észleljük. A légi jármű az észlelési ponthoz képest mozgó zajforrás – ettől csak a földön végzett műveleti zaj különbözik –, így az észlelt hanghatást a művelettel azonosítjuk. A repülési műveletektől származó zaj mértékében az 1980–2016 évek között bekövetkezett változás a repülőgépek zajkibocsátására vezethető vissza, amit a repülés szabályozásában célszerű figyelembe venni.

Közvetlenül a repülési útvonal alatt mért hangnyomásszint értékek láthatók a 16. ábrán, melynek baloldala egy Tu-154 típusú, míg jobb oldala Airbus A320 és Boeing 737 utasszállító repülőgép zajszint – idő függvényét szemlélteti. A Tu-154 repülőgép zajszint értékeit [3] alapján ábráztuk.



16. ábra Repülési útvonal alatt mért hangnyomásszint értékek

Látható, hogy a Tu-154 repülőgép közeledésekor és távolodásakor a mért hangnyomásszintek nagysága egyaránt erősen változó jelleget mutatott. A leszálló Tu-154 típusú repülőgép esetében 80–88 dB közötti zajszintek voltak a jellemzőek, míg ugyanahhoz a géptípushoz a felszálláskor ennél magasabb, 90–102 dB hangnyomásszint értékek kapcsolhatók. A jelenleg elterjedten használt repülőgép típusokra ennél jóval kisebb zajszintek a jellemzőek, leszállás esetén több műveletet figyelembe véve átlagosan 54–82 dB volt kimutatható.

Az elmúlt 35–36 évben lezajlott korszerűsítés olyan repülőgépek megjelenését eredményezte, melyek a korábbiakhoz képest megfelelnek a kedvezőbb zajkibocsátású repülőgép kategóriának. Azzal együtt, hogy ez kedvező változást jelent, a légi forgalom növekedése és a korábbiakhoz képest magasabb napi műveletszám egy-egy repülőtér esetében a zajterhelés csökkentése érdekében folytatott munkát nehezíti.

Zajcsökkentett repülés feltétele – korszerű légi járművek üzemeltetése mellett – az olyan szabályozási feltételek kidolgozása és alkalmazása, melyek a tényleges repülés vonatkozásában jelentenek lehetőséget a kedvezőbb zajhelyzet kialakulására és fenntartására. Annak eldöntése, hogy mikor, milyen módon célszerű a repülési módozatokba beavatkozni, a zajesemény-szintek megismerése is szükséges. A szabályozás alapját a rendelkezésre álló jogszabályi környezet adja, ami a jogszabályokban hivatkozott műszaki előírásokkal egészül ki. A szabályozás jellegzetessége azonban, hogy az általános környezeti zaj és rezgés vonatkozásában kiadott jogszabályok a légi közlekedésre kevésbé írnak elő kötelezettségeket, ezek a repülőterek zajgátló védőövezet kijelölésének szabályainál jelennek meg.

Zaj és rezgés ellen védendő környezetben és építmények környezetében a környezeti zajt és rezgést okozó üzemi, építési, szabadidős, valamint közlekedési zaj- vagy rezgésforrások üzemeltetésének, értékelésének és minősítésének zaj és rezgés vonatkozású keretszabályait a környezeti zaj és rezgés elleni védelem egyes szabályairól szóló 284/2007. (X. 29.) Korm. rendelet tartalmazza.

A zaj és rezgés ellen védendő területek, illetve építmények és épületek figyelembevételével előírt zaj- és rezgésterhelési határértékek a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról szóló 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendeletben található.

A követelményértékek ellenőrzésére és az érintett területek adottságai szerinti alkalmazására vonatkozó előírásokat a zajkibocsátási határértékek megállapításának, valamint a zaj- és rezgés kibocsátás ellenőrzésének módjáról szóló 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet tartalmazza. Repülőtér és a légi közlekedés vonatkozásában a 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet 4. § (4) bekezdés szerint „A légi közlekedési zaj mérését az MSZ 13-183-3:1992 számú, illetve az MSZ 13-183-4:1992 számú szabvány alapján vagy azzal egyenértékű eredményt adó mérési módszerrel kell elvégezni.”

A légi közlekedéstől származó zajterhelés mért értékeinek dokumentálására külön jogszabályi – például a 25/2004. (XII. 20.) KvVM rendelet szerinti – hivatkozás nincs.

Repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének szabályairól szól a 176/1997. (X. 11.) Korm. rendelet. A zaj elleni védelmet a zajgátló védőövezet kijelöléséhez kapcsolódó követelményértékek előírása, valamint a légi forgalomra vonatkozóan előírt és a repülőtér üzemeltetőjére háruló zajcsökkentési feladatok jelentik. Ezért a 176/1997. (X. 11.) Korm. rendelet szerinti zajgátló védőövezet kijelölésén keresztül nyílik lehetőség olyan intézkedésekre és beavatkozásokra, melyek a repülőtér működésétől származó légi közlekedési zaj szabályozását, kezelését és a zajterhelés csökkentését eredményezhetik.

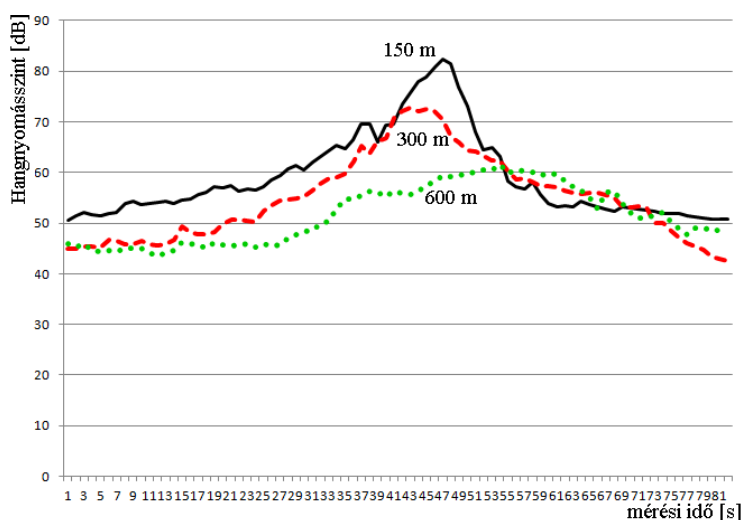
Magyarországon a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének részletes műszaki szabályai 1997-ben kerültek megállapításra a 18/1997. (X. 11.) KHVM-KTM együttes rendeletben, melyben a jogalkotó a német AzB zajszámítási módszer 1971-es első változatának adaptációjával rögzítette a zajszámítási eljárást. Ezáltal a 18/1997. (X. 11.) KHVM-KTM együttes rendeletben rögzített magyar számítási

módszer a német számítási módszerrel megegyező módon egy számítási eljárásból, valamint a számításához tartozó adatbázisból és repülőgépek akusztikai osztálya szerinti besorolásból áll.

A felsorolt szabályozási elemek közös jellemzője, hogy a repülési zaj átlagolásán alapulnak, vagyis a zajesemény szintekből hosszú idejű vonatkoztatási időkkel határozzuk meg a zajterhelést. A határértékek ellenőrzésekor ez nappal 16 óra (57 600 s), éjjel 8 óra (28 800 s). A zajgátló védőövezet meghatározásának alapja szintén a hosszú idejű megítélési idő, ami nappali zajterhelésnél általában $10\,368 \times 103$ másodperc (6×30 nap $\times 16$ óra $\times 3600$ sec), éjszakai zajterhelésnél pedig általában 5184×103 másodperc ($6 \times 30 \times 8$ óra $\times 3600$ sec). Ez az eljárás a nappali 16 óra és éjszakai 8 óra megítélési idő alkalmazását tükrözi a legforgalmasabb 6 hónap figyelembevételével.

A hosszú időtartamok miatt egy-egy zajesemény tényleges kiértékelése valójában a háttérbe szorul, ezzel a szubjektív zavarás minősítése nem lesz teljes. Gond, hogy emiatt az eseményszintekkel összefüggő zavaró hatás elveszik az egyenértékű szintértékekben, vagyis pont a zaj lényegét hagyjuk figyelmen kívül. Ezért a zaj elleni védelem vonatkozásában rendelkezésre álló jogszabályok és műszaki előírások felülvizsgálata indokolt a modern környezetvédelem elvei szerint.

Repülési zaj csökkentésénél szinte minden esetben felmerül az igény, hogy a zajforrás és a zaj ellen védendő környezet távolsága olyan módon legyen meghatározva, ami biztosítja a határértékek teljesülését, illetve lényeges szempontként elfogadható mértékűre csökkenjen a zavaró hatás. Az ilyen távolságkövetelmény meghatározása azonban csak műveleti zajszint értékek alapján lehetséges. A repülési útvonalak kijelölése szintén összefüggésben van a távolsággal és az átrepülési magassággal. A repülőterek jelenlegi forgalmát tekintve a zajprobléma kezelésében meghatározó szempont a repülési – mind leszállóirányban, mind felszálló irányban – útvonalak kijelölése. Leszállóirányban, siklópálya alatt kijelölt mérési pontokban, eltérő átrepülési magasság mellett rögzített zajesemény szintek láthatók a 17. ábrán.



17. ábra Leszállóirányban eltérő repülési magasság mellett mért hangnyomásszint értékek

4. A REPÜLÉS KÖRNYEZETVÉDELMI ÁTVÁLTOZÁSA

Mindenki egyetért azzal a megállapítással, hogy a légi közlekedés környezetvédelmi modernizációja elengedhetetlen a 21. században. Tény, hogy az elmúlt 25–30 év sem telt el eredménytelenül, a repülés folyamatos fejlesztései eredményeket hoztak a környezetvédelem számára is. Kérdés, hogy a megoldást forradalmian új járműszerkezetben és hajtóművekben, esetleg hajtómű nélküli repülőgépekben kell keresnünk, vagy a meglévő technológia fejlesztése vezet a környezetvédelmi szempontból megújuló légi közlekedéshez.

Más közlekedési ágazatokhoz hasonlóan a repülőgépipar is folyamatosan szembesül az egyre szigorúbb környezetvédelmi előírásokkal. Ezek az előírások azonban még nem érték el a modern környezetvédelem elveinek is megfelelő szintet, ennek a legtöbb esetben gazdasági, minőségbiztosítási és politikai okai vannak, gyakran az érintett lakosság megnyilvánulásai generálnak az erre hivatottak részéről intézkedéseket. Még hiányzik a tudatos, megfontolt és a rendelkezésre álló technológiák teljes kihasználásán alapuló környezetvédelem, mely az emberi lét szükségleteit, a kialakult társadalmi és civilizációs szokásokat is figyelembe veszi.

A kutatók és a mérnökök iparkodnak felgyorsítani a fejlődést, de vajon milyen irányban halad a fejlődés? Ahhoz, hogy helyes irányba tartsunk, a jelenlegi elvek és szemléletmód átgondolása szükséges. Sokan félnek ettől, pedig több vizsgálati eredmény is alátámasztja az új környezetvédelmi gondolkodás létjogosultságát. A vizsgálati eredmények mellett megjelentek olyan fejlesztések, melyek a kíméletes környezethasználathoz vezetnek, például kedvezőbb zajkibocsátású repülőgépek építése, vagy a zajcsökkentésre is kiterjedő légi forgalmi szabályozás. Ehhez a résztvevők együttműködése szükséges a modern repülés eszközeivel a modern környezetvédelem területén.

Ne feledjük, a zajt teljesen eltüntetni nem lehet. Ezért a zaj a repülésben is mindig jelen lesz, a technikai feltételek teljesülésével a jelenlegi repülőgépjaj csökkentésére van lehetőség a fokozatosság elve mellett. A kedvezőbb zajkibocsátású repülőgép és légijármű üzemeltetés a modern környezetvédelem részeként valósulhat meg. A zajcsökkentésnél ugyanakkor alapelv, hogy minden zaj hang, de nem minden hang zaj. Tehát a repülés esetében is a meghatározó rész-zajforrásnak és lehetőségnek kell a zajcsökkentési munka középpontjába kerülnie.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BERA JÓZSEF: Légi közlekedés környezetbiztonsági kapcsolatrendszerének modellezése a helikopterzaj tükrében, doktori (PhD) értekezés, Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, 2015., 119 p.
- [2] SZABÓ JÓZSEF (ed.): Repülési Lexikon, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991, I. kötet 623 p., II. kötet 603 p.
- [3] BUNA BÉLA: A közlekedési zaj csökkentése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982, 202 p.
- [4] VILÁGJÁRÓ UTAZÁSI MAGAZIN: Megvalósult álom – Repülés környezetkímélően, (online), url: <http://www.vjm.hu/vilag/megvalosult-alom-repules-kornyezetkimeloen/16466/> (2016. 01. 26.)
- [5] BERA JÓZSEF: Helikopter által lesugárzott zaj vizsgálata, In: Bitay Enikő (szerk.) XIII. F fiatal Műszakiak Tudományos Ülészaka, Nemzetközi Tudományos Konferencia: International Scientific Conference: Kolozsvár, 2008. március 14-15., Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2008. 03. 14. – 2008. 03. 15. Kolozsvár, Erdélyi Múzeum Egyesület, pp. 37-40.
- [6] BERA JÓZSEF: Repülőtér-használat és zajterhelés összefüggései a repülőképzésben, Repüléstudományi Közlemények Különszám, Szolnok, 2010, (online), url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2010_cikkek/Bera_Jozsef.pdf, pp. 1-12.

MODERN AVIATION, MODERN ENVIRONMENT PROTECTION

As regards of aeronautical science results, Wilbur and Orville Wright have fulfilled one of the oldest wishes of mankind with their 12 seconds flight in the morning of 17 December 1903. Before that, 2-3000 years ago the first kite structures and rockets appeared in China, while in Europe the air balloon at the end of the 18th century, and in 1895 the patent of the airship represented big sensation. Since the kite structure of the Wright brothers in 1899, we have seen the unbroken development of aviation. Flying has evolved into a decisive factor in human life; beside the military aircrafts the use of civil flying objects has become popular, and nowadays we are talking about modern aviation. However, one consequence of flying is its impact on the environment, which has become gradually greater and greater as aviation developed; in 2016 one key question of flying is the environmental noise and its management, representing a modern environmental problem.

Key words: *modern aviation, modern environment protection, environmental noise*

Dr. BERA József, PhD
környezetvédelmi szakértő
Fonometro Környezettechnikai Bt.
bera.jozsef@prosysmod.hu
orcid.org/0000-0001-6240-2345

BERA József, PhD
expert of environmental protection
Fonometro Limited partnership
bera.jozsef@prosysmod.hu
orcid.org/0000-0001-6240-2345



Szilvássy László

REPÜLŐFEDÉLZETI IRÁNYÍTHATÓ PÁNCÉLTÖRŐ RAKÉTÁK ÉS AZOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A szerző jelen tanulmányában bemutatja elsősorban harci helikopter fedélzetén alkalmazott irányítható páncéltörő rakétákat. A téma napjainkban több szempontból is aktuális. Az egyik ezek közül, hogy Magyarország katonai helikopterek beszerzését tervezi a közeljövőben, a másik pedig, hogy a világ számos hadseregében elterjedően vannak a pilótanélküli repülő eszközök (UAV), melyek hasznos terhelései lehetnek ezek, az alapvetően harci helikopterekre készült irányítható páncéltörő rakéta(ák).

Kulcsszavak: repülőfedélzeti irányítható páncéltörő rakéta, harci helikopter, pilótanélküli repülő eszköz

IRÁNYÍTHATÓ PÁNCÉLTÖRŐ RAKÉTÁK

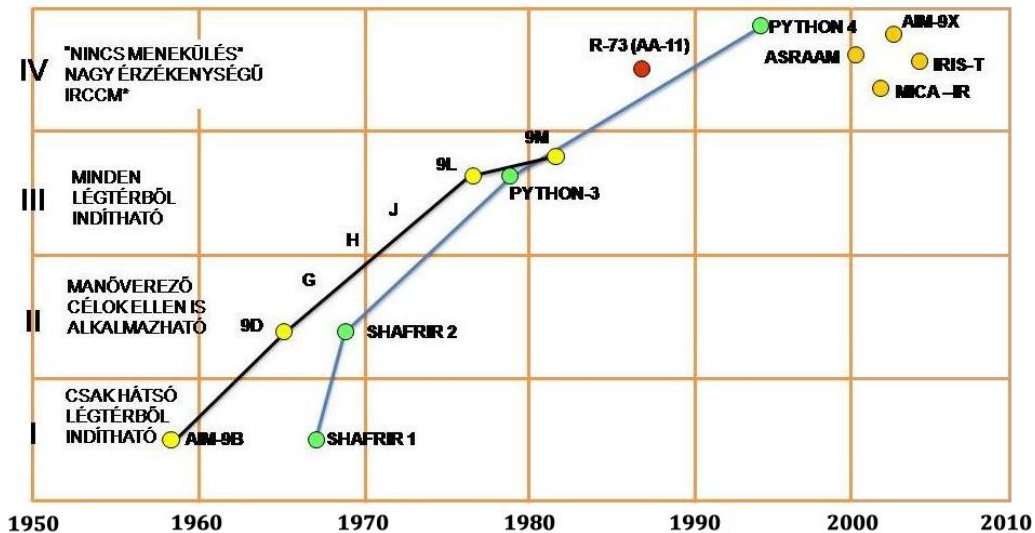
Az irányítható rakétákról általában

Az irányítható rakéták első megjelenése a II. világháború idejére tehető. A náci Németország végzett kísérleteket 1944–45-ben. Inerciális irányító rendszerrel felszerelt V–1 repülőgép-lövedék, majd a V–2 ballisztikus rakéták ezreit zúdították Londonra és más európai városokra. Sikeres kísérleteket hajtottak végre irányítható páncéltörő és légvédelmi rakétákkal is, melyek vezetékes táv-, vagy rádió parancsirányítással rendelkeztek. A háború befejezése miatt ezek tömeges alkalmazására már nem került sor [1].

A világháború után nagy erővel kezdtek fejleszteni az irányítható rakétákat. A technikai forradalom, elsősorban az elektronika, rádiólokáció, infravörös és félvezető technika, valamint a gyártástechnológia fejlődése lehetővé tették, hogy az 50-es évek végére olyan rakétatechnika álljon rendelkezésre, mely a légi harc megívásának alapvető eszköze lett [1].

A korai rakétákra az volt a jellemző, hogy nem vagy gyengén manőverező légi célok megsemmisítésére tervezték. Alkalmazási magasságuk maximálisan 15–18 km, míg indítási távolságuk 5–12 km lehetett. Kis túlterhelések elviselésére voltak képesek, indításuk, kizárólag hátsó légteréből történhetett, kis rákurzus¹ esetén. Az 50-es, 60-as évek helyi háborúinak tapasztalatai bizonyították, hogy az ilyen paraméterekkel rendelkező rakéták alkalmazási lehetősége igen kicsi és a célmegsemmisítés valószínűsége is nagyon alacsony. Már a 70-es, 80-as években rendszerbeállított rakéták harcászati-technikai adatai is többszörösen felülmúlták a korai fejlesztésű eszközökét, nem is beszélve arról, hogy a 80-as években már az első IV. generációs (1. ábra) légi harc rakéta hadrendbeállítása is megtörtént. Napjainkban III. és IV. generációs rakéták szolgálnak a legtöbb légierőben, de a tervezőasztalokon és kísérleti laboratóriumban már az V. generációs rakétákat is fejlesztene [1][6].

¹ „A cél rákurzusának nevezzük a cél haladási iránya és az irányzóvonal által bezárt szöveget, a cél irányszögeként is használatos.” [1]



*IRCCM: Infrared Counter-Countermeasures Seeker - infravörös ellentévékenység kiszűrő koordinátor

1. ábra Rövid hatótávolságú légi harc rakéták fejlődése [6][36]

Az irányítható rakéták fejlődésével a nemirányítható rakéták sem veszítették el harcászati jelentőségüket, ugyanis a kisméretű földi célok, tankok, páncélozott szállító járművek megsemmisítésére sokkal hatékonyabbak és gazdaságosabb eszközök, mint a légibombák vagy az irányítható rakéták. Az indító berendezések korszerűsödésével nagyobb mennyiség is függeszthető belőle a repülőeszközre, mellyel a harci helikopterek jelentőségét sikerült erősíteni a 60-as 70-es években. Ugyan ebben az időben a légi harc rakéták módosításával elkészültek az első „levegő-föld” rakéták is, melyek az irányítási rendszer pontatlansága miatt nagy tömegű harcirésszel rendelkeztek és indítási távolságuk is kicsi volt. A fejlesztések során az irányító rendszerek korszerűsödésével egyre nagyobb távolságról lehetett ezeket az eszközöket alkalmazni és megjelentek az első irányítható páncéltörő rakéták, melyekkel a páncélozott eszközöket 4–5 km-ről is meg lehetett semmisíteni. Az utóbbi a harci helikopterek gyors fejlődésével együtt ugrásszerűen korszerűsödött és világszerte elterjedt [1].

Az irányítható rakéták csoportosítása

A fedélzeti rakétákat a hordozó eszköz és a cél elhelyezkedése alapján a következő két nagy csoportba lehet besorolni:

- levegő-felszín vagy levegő-föld;
- levegő-levegő vagy légi harc².

Ez a csoportosítás azonban csak a rakéta rendeltetésére utal, részletesebb adatok megismerését nem teszi lehetővé.

Az irányító rendszer típusa szerint megkülönböztetünk:

- távirányítású;
- önirányítású;
- programirányítású;
- kombinált irányítású rendszereket.

² Tanárként a légi harc rakéta elnevezés használatát erősítem, mert egy jól megalkotott és szakmailag mindent magában foglaló szakszó, jobb mint a „levegő-levegő osztályú”. (A szerző megjegyzése).

A **távirányítású rendszerekben** az irányító jel a rakétán kívül (pl.: a rávezető állomáson, ami a helikopter vagy repülőgép fedélzetén található) jön létre. Ezt parancsjel formájában érzékeli a rakéta fedélzeti irányító rendszere és működésbe jönnek a kormányok, amik a röppályát módosítják. A parancsjel közvetlenül vezetéken, vagy rádióhullámok segítségével továbbítható.

Az **önirányító rendszerekben** a rakéta valamint a cél kölcsönös helyzetét az irányító rendszer részét képező, a rakéta fedélzetén található célkoordinátor végzi. Ennek jele megfelelő feldolgozás (zavar- és zajszűrés, erősítés stb.) után a rakéta irányító berendezésén keresztül kormány elmozdítási jeleket hoz létre és ezzel korrigálja a rakéta röppályáját.

A **programirányítású rendszerekben** a rakéta repülése előre meghatározott paraméterek szerint történik. A fedélzetén elhelyezett berendezés nincs kapcsolatban sem a céllal, sem az indító repülőgéppel, repülési paramétereit az indítás előtt kapja meg a hordozó repülőgép fedélzeti számítógéjétől. A repülés folyamán a fedélzeti irányító berendezés összehasonlítja a beprogramozott értékeket és a valós repülési paramétereket, majd ennek eredményeként kidolgozza az irányító jeleket és kiadja az irányító parancsokat a vezérlő szervek felé. A programvezérlés előnye a nagyfokú zavarvédetség, hátránya viszont az, hogy nincs lehetőség a program, repülés közbeni módosítására.

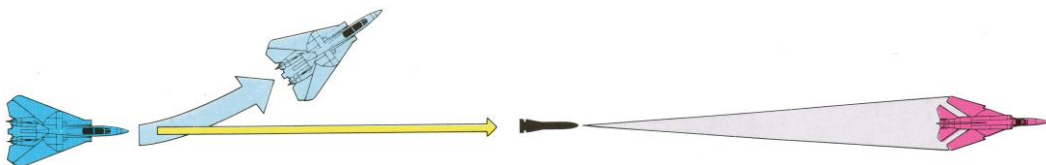
A **kombinált irányítású rendszer** alkalmazása egyre gyakoribb a közepes és nagy hatótávolságú légiharc rakétákban. Az ilyen eszközök célkörzetbe juttatása programirányítással történik, majd a cél befogása után áttér önirányításra, de akár korrekcióra is van lehetőség. Ez azt jelenti, hogy az indító repülőgép fedélzeti lokátora figyeli a cél és az elindított rakéta kölcsönös helyzetét, és szükség szerint egy rövid impulzuscsoomaggal módosíthatja az indításkor bevitt programot. Bonyolult légi helyzetben, illetve mikor a cél mozgása kiszámítható (pl. teherszállító, bombázó, üzemanyagöltő repülőgép) lehetőség van a rakétát magára hagyni, vagyis teljesül a „Tüzelj és felejtse el!” elv.

A cél kiválasztásának módszere szerint három önirányítási módszert különböztetünk meg:

- aktív;
- félaktív;
- passzív.

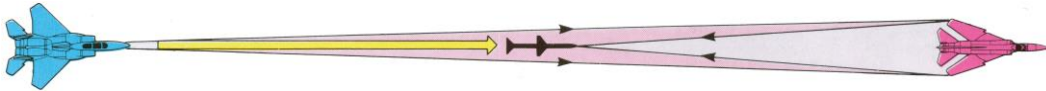
Az **aktív és félaktív** önirányítási rendszerek lényege, hogy a célt mesterségesen kiemeljük a környezet háttéréből – megvilágítjuk – elektromágneses hullámok segítségével. A célról visszaverődött jeleket a rakéta célkoordinátora érzékeli és a szükséges jelfeldolgozás után kiszűri belőle a szükséges információt a cél helyzetéről és mozgásáról. A hasznos információk alapján kidolgozza az önirányító rendszerben az irányító jeleket, ami a kormánygépek segítségével módosítja az eszköz röppályáját.

Azokat a rendszereket ahol a sugárzó berendezés is a rakéta fedélzetén található **aktív önirányításnak** (2. ábra), ahol csak a vevő berendezés van azt **félaktív önirányításnak** nevezük (3. ábra).



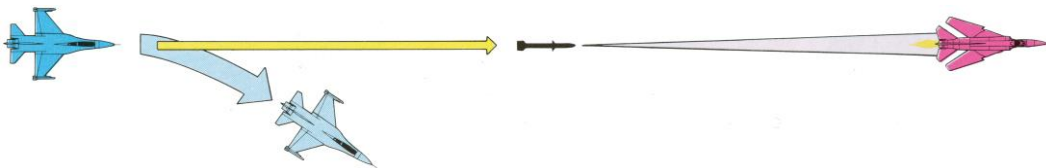
2. ábra Aktív önirányítás [1]

A félaktív rendszerek legnagyobb hátránya, hogy a rakéta teljes célba jutásáig meg kell világítani azt, vagyis folyamatosan biztosítani kell a mesterséges kiválasztást a környezetből. Ezt leggyakrabban a hordozó repülőgép végzi a rádiolokátora segítségével és ilyenkor megnövekszik a felderítésének a veszélye, mivel folyamatos rádió kisugárzás történik, illetve korlátozottak a saját (önvédelmi) manőver lehetőségei. Gyakran – közepes és nagy hatótávolságú légi harc rakéták esetében – az aktív és a félaktív önirányítási rendszereket kombináltan is alkalmazhatják.



3. ábra Félaktív önirányítás [1]

Passzív önirányítási módszer (4. ábra) esetében a célok saját kisugárzását (hő, fény, elektromágneses) használjuk fel a rakéta fedélzetén található célkoordinátor hasznos jeleként. A legelterjedtebb változat a passzív infravörös önirányítás (PIR³), ahol a repülőgép hajtómű kiáramló forró gázainak, a sárkányszerkezet felmelegedett elemeinek hősugárzását érzékeli a célkoordinátor. Ezeknek a rendszereknek több előnyös tulajdonsága is van, ilyen pl.: a viszonylag egyszerű, olcsó felépítés, a nagy pontosság, valamint az a tény, hogy a rakéta indítása után a hordozó repülőgép azonnal kiválhat a manőverből és megkezdheti egy másik, új cél támadását, vagy visszatérhet a bázisra. Ezt nevezzük a „Tüzelj és felejtse el!” elvnek. A PIR alkalmazásának csak a kedvezőtlen időjárási viszonyok szabhatnak határt.



4. ábra Passzív önirányítás [1]

Írányítható páncéltörő rakéták irányítási módszerei

Az előzőekben felsorolt irányítási eljárások nemcsak a légi harc rakétákra igazak, hanem a levegő-felszín (levegő-föld) osztályúakra is, így a helikopter fedélzeti irányítható páncéltörő rakétákra is. Az utóbbiak esetében gyakran kerül alkalmazásra a táv- vagy parancsirányítás.

Távirányítás vagy parancsirányítás

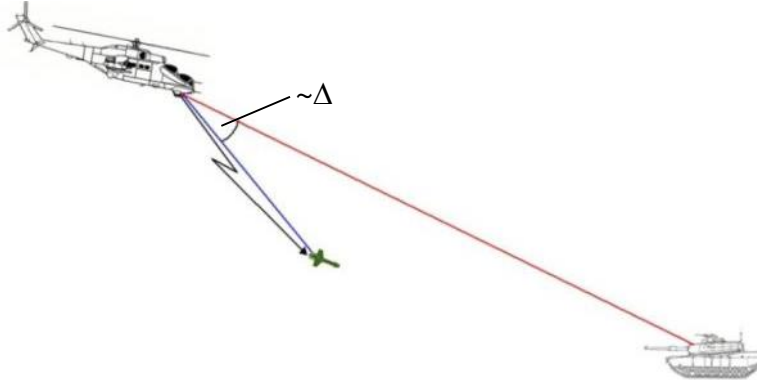
A **táv- vagy parancsirányítás** helikopter fedélzeti irányítható páncéltörő rakéták esetében gyakran alkalmazott rávezetési eljárás. Széleskörű elterjedésének az egyik oka a gazdaságosság, mivel az irányítórendszer legbonyolultabb része – a rakéta repülési paramétereit meghatározó egység, a számítógép – a helikopter fedélzetén található, így az többször is felhasználható.

A rakéta indítását megelőzően az operátor vizuálisan kiválasztja a célt, majd egy optikai rendszer segítségével, végrehajtja a célzást. Ezzel, a rendszer számára kialakul az irányzóvonal. A rakéta irányítása ehhez viszonyítva, automatikusan valósul meg a következő módon:

- a rakéta folyamatos szögkoordinátáit a pelengátor optikai tengelyéhez viszonyítva irány és bólintás szerint meghatározza a rávezető műszer;

³ PIR – Passive InfraRed – passzív infravörös

- a fenti adatokból a fedélzeti számítógép kialakítja a vezérlő jelnek megfelelő parancsokat;
- a fedélzeti számítógép, által kidolgozott parancsokat rádió, vagy vezetékes csatornán továbbítja a rakétának;
- a rakéta fedélzeti blokkjai a megfelelő manőver végrehajtása érdekében végrehajtják a kormány kitéréseket.

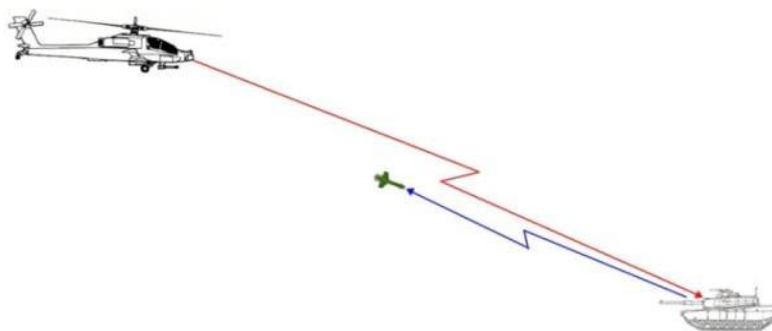


5. ábra Távirányítás vagy parancs irányítás [1]

A pelengátor követi a rakéta infravörös válaszadójának a kisugárzását (villanófény; nyomjelző vagy lámpa), miközben meghatározza a annak irányzóvonalhoz viszonyított szöghelyzetét. A rakétának a pelengátor optikai tengelyéhez viszonyított irány és bólintás szerinti szöghelyzetével arányos jelek a fedélzeti számítógépre jutnak, ahol megtörténik az összehasonlítás az irányzóvonal paramétereivel. Utóbbi eredményeképpen kialakul az eltéréssel arányos irányítójel (Δ) (5. ábra).

Félaktív önirányítás

A **félaktív önirányítás** helikopter fedélzeti irányítható páncéltörő rakéták esetében nem túl gyakori az 8. táblázatban, a felsorolt kilenc eszköz közül csak két típus (az amerikai **AGM-114 Hellfire** és a dél-afrikai **Mokopa**) rendelkezik félaktív önirányítással. Mindkettőt a kilencvenes években fejlesztették ki.



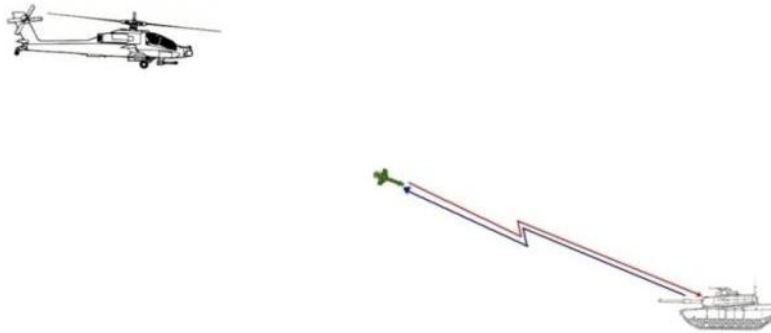
6. ábra Félaktív önirányítás [1]

A szárazföldi célok ellen alkalmazott félaktív irányítható rakéták esetében gyakran találkozhatunk félaktív lézer irányítással és ez nem csak a helikopter fedélzeti irányítható rakétákra igaz. Ennek az önirányítási módszernek a lényege ugyanaz, mint a légiharc rakéták esetében, valamilyen mesterséges jel segítségével (lézer vagy rádió jel) mesterségesen ki kell emelni a célt a háttérből (6. ábra).

A célról visszaverődött jelre reagál a célkoordinátor és valósítja meg az önirányítást. A harci helikopterek fedélzetén széles körben még nem terjedt el a fedélzeti rádiólokátor, így a félaktív irányítható páncéltörő rakéták jelentős része félaktív lézer önirányítású. Az első félaktív rádió önirányítású eszközt az *AH-64 „Longbow”* rendszerrel együtt fejlesztették ki.

Aktív önirányítás

Az *aktív önirányítás* helikopter fedélzeti irányítható páncéltörő rakéták esetében a legritkább (7. ábra). Csupán egyetlen típus rendelkezik ilyen változattal. Az *AH-64* harci helikopter modernizációja során fejlesztették ki az *AGM-114 „Longbow Hellfire”* változatát, melynek kombinált irányítási rendszeréhez inerciális és aktív rádió önirányítás tartozik.



7. ábra Aktív önirányítás [1]

Irányítható páncéltörő rakéták

A harci helikopterek megjelenésével egy időben jelentek meg az irányítható páncéltörő rakéták is. E légijárművek rendeltetése – harckocsi kötelékek megbontása és megsemmisítése így viszonylag nagy távolságról, pontosan, a lehető legnagyobb zavarvédelemmel kell ezeket a rakétákat célba juttatnia. Az évek során több különböző típus jelent meg és a fejlesztések szinte folyamatosan folynak azóta is. A teljesség igénye nélkül összegyűjtöttem a legismertebb típusokat és azok paramétereit.

AGM-114 „Hellfire”

- *AGM-114A* – a típus alapváltozata, 1985-ben rendszeresítették a US Army-nál (USA szárazföldi haderejénél);
- *AGM-114B* – a US Marine Corps (USA Tengerészgyalogsága) hajófedélzetén rendszeresített változata. Egy kevésbé füstölő hajtóművet kapott, biztonsági élesítő szerkezettel szerelt változat hajófedélzeti üzemeltetéshez;
- *AGM-114C* – ugyanaz, mint a *B*, de biztonsági élesítő szerkezet nélkül a US Army-nál. A rendszerbeállítás után rövid idővel a Swedish Coastal Artillery Force (Svéd partvédelmi tüzérség) rövid hatótávolságú rakétát keresett partraszállító járművek és kisebb hadihajók ellen. A svéd adminisztráció 1984-ben kötötte meg a szerződést a rakéta beszerzéséről és 1987-ben rendszeresítették *RBS-17* néven.



1. kép AGM-114M *Hellfire II* repeszromboló harcírészsel (felül),
AGM-114K tandem kumulatív harcírészsel (középen),
AGM-114L *Longbow Hellfire* (alul) [12]

- **AGM-114F** – gyakran *Interim Hellfire* néven is emlegetett változat. Az Interim Hellfire Weapons (IHW) első szava (interim = leváltó) után kapta, mert az **A** és **B** változatok leváltására hozták létre. A harcírésze tandem kumulatív⁴;
- **AGM-114K/K2 Hellfire II** – (1. kép) az első időszakban HOMS (Hellfire Optimised Missile System – optimalizált Hellfire rakéta rendszer) néven is találkozhatunk vele. Később kapta meg az **AGM-114K Hellfire II** jelölést. Ez egy szinte teljesen áttervezett változat, de a korábbi rendszer tulajdonságait megőrizte. Új harcírészt, hajtóművet és vezérlő rekeszt kapott. Méretében rövidebb és tömege könnyebb, mint az **AGM-114F** változaté, visszatértek az eredeti **AGM-114A** változat méretéhez és tömegéhez. Az **AGM-114K2** változat egy IM (Insensitive Munition) elnevezésű kevésbé érzékeny, biztonságosabb harcírészt kapott;
- **AGM-114K-1A, AGM-114K-2A (AGM-114KA)** – a harci tapasztalatok alapján az **AGM-114K** páncélozott harcjárművek ellen optimalizált harcírésze épületek, illetve épületekben található célok ellen nem rendelkezett kellő hatékonysággal, ezért a harcírészt repeszköpennyel vették körül, hogy növekedjen az oldalirányú megsemmisítő képesség. A köpeny anyaga gyártótól függően acél vagy tantál. Az előbbiből képződő repesz tömege, ugyanannyi repeszt feltételezve, kb. fele annyi, mint a tantál köpenyből képződő repeszé⁵. Ebből következik, hogy a tantál köpeny megsemmisítő képessége felülmúlja az acél köpenyét. A két részből álló, kiegészítő repesz köpenyt az alap harcírészre, kívülről kell felcsatolni, így növelve annak megsemmisítő képességét. A rakéta jelzésében is megjelenik a különbség: **AGM-114K-1A** acél köpeny, **AGM-114-2A** tantál köpeny;
- **AGM-114L Longbow Hellfire** – (1. kép) korábban AAWWS (Airborne Adverse Weather Weapon System – repülőfedélzeti kedvezőtlen időjárási viszonyok között al-

⁴ tandem kumulatív harcírész – kettős kumulatív hatású harcírész, melyet a kiegészítő páncélzattal rendelkező harcjárművek megsemmisítésére szolgálnak. Idegennyelvű leírásokban a T HEAT elnevezést használják. Jelentése: „Tandem High Explosive Anti-Tank” – nagy hatóerejű kumulatív (máshol a következőt találhatjuk: HE shaped charge – nagy hatóerejű (formázott) körte alakú – valószínű a kumulatív vájat parabolikus alakjára utalóan kapta a nevét) (a szerző megjegyzése)

⁵ A kb. kétszeres megsemmisítő képesség könnyen igazolható. Az acél sűrűsége $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$, míg a tantálé $\rho = 16\,600 \text{ kg/m}^3$. A kinetikus energi $E = 1/2 m v^2$. A tömeget a térfogat és a sűrűség szorzataként számíthatjuk: $m = V \rho$. Ha mindkét fém esetében kiszámítjuk a kinetikus energiát és azokból egy arányt képzünk, akkor az acél és a tantál kinetikus eregiáinak aránya: $E_A : E_T = 1 : 2,21$ [24].

kalmazható fegyverrendszer) néven is találkozhatunk vele. Fejlesztése során az elsődleges szempont az *AH-64D Longbow Apache* helikopterhez kívántak egy aktív irányítható páncéltörő rakétát kidolgozni. A SAL⁶ célkoordinátort egy MMW⁷ milliméteres hullámhossz tartományban (35 GHz frekvencián) működő aktív rádió célkoordinátorral cserélték le. A rakéta többi része megegyezik az *AGM-114K* változattal. A leglényegesebb tulajdonsága, hogy a „Tüzelj és felejtse el!” kategóriába tartozik, ami kiemeli a többi páncéltörő rakéta közül. A harci tapasztalatok alapján nem váltotta be a hozzáfűzött reményeket és az ár-érték arány alapján az *AGM-114L* előnyösebb vételnek számított. ennek következtében a megrendelések hiányában a *Lockheed Martin* 2005-ben bejelentette, hogy megszünteti a gyártását, amit 2006-ban meg is tett;

- *AGM-114M* – (1. kép) repesz-romboló harci résszel szerelt változat, melyben a *PBXN-9* robbanóanyag helyett *PBXN-109*⁸ van;
- *AGM-114N* – MAC⁹ termobarikus harcirésszel szerelt. Épületek, harcálláspontok, bunkerek és élőerő ellen alkalmazható, a US Marine Corps részére kifejlesztett változat;
- *AGM-114P* – pilótánélküli repülőeszközökre (UAV) elsősorban az *MQ-1A Predator*-ra optimalizált változat. Az *AGM-114K/M/N* továbbfejlesztéseként született. Új célkoordinátor és módosított szoftvert kapott, ami lehetőséget biztosít a nagymagasságú indításra. A maximális indítási magasság 10 000 láb (3048 m) helyett maximálisan 25 000 lábra (7620 m) növekedett. A célkoordinátor látómezeje 90°, ami 8°-kal nagyobb, mint az egyéb változatoké, ami lehetővé teszi a pontos célbefogást nagy magasságokból is. A fejlesztése 2001-ben kezdődött és 2008-ra kerül sorozatgyártásra. Ezt a gyártmány indítható a *KC-130J Hercules*-ről.



8. ábra *AGM-114R* többrendeltetésű harcirésszel [10]

- *AGM-114R* – (8. ábra) többrendeltetésű harcirésszel szerelt változat, amely lehetővé teszi páncélozott szállítójárművek, harckocsik, légvédelmi harcálláspontok, őrzőhajók, nyílt területen elhelyezkedő élő erő, valamint barlangok támadását. A felújított inerciális mérőberendezése széles ráküzus tartományt biztosít, így lehetőség van oldalról, vagy hátsó helyzetből történő indításra [7][8][9][10][11][12].

⁶ SAL – Semi-Activ Laser – félaktív lézer

⁷ MMW – millimetre wave – milliméteres hullámhosszú, ismert még EHF – Extremely High Frequency – nagyon magas frekvencia néven is.

⁸ PBXN – a PBX – polymer-bonded explosive – polimer kötőanyagú robbanóanyag, melynek komponense lehet: RDX (hexogen), HMX (oktogen) [24].

⁹ MAC – Metal Augmented Charge – kb. fém béléstöltet

	AGM-114						
	A/B/C	F	K	L	M	N	R
Hossza [m]	1,63	1,8	1,63	1,78	1,63	1,63	1,63
Törzs Ø [mm]	178						
Fesztáv [m]	0,33						
Tömeg [kg]	45,7	48,6	45,7	50	48	48	49,4
Harcirész tömege [kg]	8	–	–	–	12,5	–	–
Harcirész típusa	HEAT	T HEAT	HEAT	T HEAT	HE repsz- romboló	MAC termo-ba- rikus	hangol- ható többren- deltetésű
Irányítás	SALH ¹⁰	SALH	SALH	Inerciális és SARH ¹¹	SALH	SALH	SALH + IMU ¹²
Hajtómű	szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű						
Hatótávolság [km]	8	8	9	9	9	9	9

1. táblázat Az AGM-114 irányítható páncéltörő rakéta harcászati-technikai adatai [1][7][8][9][10][11][12]

PARS¹³ 3 LR¹⁴ (LR-*Trigat*) vagy AC 3G¹⁵

A fejlesztést három ország Franciaország, Németország és Nagy Britannia kezdte meg 1976-ban, de már csak az első kettő fejezte be. Az eredetileg a *HOT*, a *Milan*, a *Swingfire* és a *TOW* páncéltörő rakéták leváltására tervezték. Az elhúzódo tanulmányok és tárgyalások után a három említett ország 1988-ban aláírták a végleges megállapodást, melyhez egy év múlva Belgium és Hollandia is csatlakozott. A tervek szerint a következő modifikációk készültek volna a rakétából: közepes hatótávolságú (MR – medium range), vállról indítható (*ATGW-3MR*) a *Milan* leváltására, nagy hatótávolságú¹⁶ (LR – long range) harcjárműről és helikopter fedélzetéről indítható változat (*ATGW-3LR* később *LR-TRIGAT*, majd *PARS 3LR*) (2. kép) a *HOT*, *Swingfire* és *TOW* leváltására. Hosszú tesztek után az első próbálövetészetet, az *OSIRIS* bármely napszaki célzókészülékkel együttműködve 1995-ben hajtották végre. Az első fedélzeti indítás pedig egy *Panther* helikopter fedélzetéről történt 1998-ban.

A rakéta csak az *OSIRIS* vagy azzal kompatibilis éjjel-nappali, infravörös célzókészülékkel együttesen alkalmazható, így az *AH-64* és az *A129* harci helikopterekkel nem indítható. 1996-ban az Egyesült Királyság kiszállt a programból és helyette a *WAH-64* harci helikopterekhez az *AGM-114 Hellfire* rakétát kívánták rendszerbe állítani. Két évvel később Franciaország is felbontotta a szerződést és felhagyott a páncéltörő képességekkel rendelkező *Tiger HAC* fejlesztésével, helyette két új irányt jelölt ki és a *Tiger HAP*, valamint a *Tiger HAD* változatokat részesítve előnyben, de ezekre a helikopterekre már nem kívánta, a forgószárnyagra szerelhető

¹⁰ SALH – Semi-Active Laser Homing – félaktív lézer önirányítású

¹¹ SARH – Semi-Active Radar Homing – félaktív rádió önirányítású

¹² IMU – Inertial Measuring Unit – inerciális mérő egység

¹³ PARS – Panzerabwehr Raketensystem (a rakéta német elnevezése) – páncélelhárító rakétarendszer

¹⁴ LR – Long Range – nagy távolságú

¹⁵ AC 3G – antichar de 3e generation (a rakéta francia elnevezése) – 3. generációs páncéltörő rakéta

¹⁶ valójában közepes hatótávolságú rakétáról van szó, de valamivel meg kellett különböztetni a MR változattól, így kapta az LR betűjelzést.

OSIRIS célzókészüléket beépíteni. Spanyolország is a *Tiger HAP/HAD* változatot rendelte meg. *OSIRIS* hiányában Franciaország az *AGM-114 Hellfire*, Spanyolország pedig az izraeli *Spike* páncéltörő rakétákat kívánta integrálni a helikopterhez. Ausztrália is az *AGM-114 Hellfire*-t választotta. A *TRIGAT* programot így csak Németország folytatta tovább, de csak a nagyhatótávolságú (*LR-TRIGAT*) változatot fejlesztette tovább. 2004-re érte el azt a szintet, mikor a minősítő tesztek során az *LR-TRIGAT* rakétát és az *OSIRIS* célzókészüléket alkalmasnak ítélték a *Tiger UHT* helikopteren való alkalmazásra, innen kezdve a inkább a *PARS 3 LR*, német nevén emlegetik.



2. kép PARS 3 LR [14]

A *PARS 3 LR*, egy közepes hatótávolságú, páncéltörő, helikopterfedélzeti rakéta, melynek a hatótávolsága 500 m és 6000 m között van, de kiterjeszhető 8000 m-ig. 49 kg tömegű és 1,62 m hosszú. A legfontosabb tulajdonsága, ami megkülönbözteti a többi helikopterfedélzeti, páncéltörő rakétától, hogy a „Tűzelj és felejtse el!” kategóriába sorolható. Ezt köszönheti a CCD¹⁷ képalkotóval szerelt IIR¹⁸ célkoordinátorának, mely egyedülálló a páncéltörő rakéták között.

A rakéta kompatibilis a *SAGEM OSIRIS* forgószárny agyra és a *SAGEM Strix*¹⁹ fülketetőre szerelt bármely napszaki célkoordinátorral. Indító berendezése négycsövű, dobozos kivitelű, mely megvédi az eszközt a külső behatásoktól, nedvességtől, szennyeződétől. Normál aerodinamikai elrendezésű, ennek megfelelően a rakétatest középső részén található a szárnyak, a hátsó részén pedig a kormányok. Az IIR célkoordinátort egy áramvonalazó, üvegbúra alatt helyezkedik el, amely mögött a tandem kumulatív harciresz, a végrehajtó-biztosító szerkezettel együtt található. A kereszt elrendezésű szárnyak közötti részen az irányítást végző fedélzeti számítógép kapott helyett, majd a következő szekcióban a szilárd hatóanyagú rakétahajtómű található egy hagyományos hátul elhelyezkedő fűvókával. Az IIR célkoordinátor 10 µm-es tartományban működik. A célmegjelölést a célzókészülékektől kapja hőkép formájában, melyet összehasonlít a IIR célkoordinátor által kidolgozott képpel. Ha kép egyezik megtörténik a befogás. Ebből következik, hogy a rakéta célkoordinátora nem képes önálló célkeresésre [8][9][13][14][16][17].

¹⁷ CCD (Charge-coupled Device, azaz töltés-csatolt eszköz) egy analóg jelek továbbítására szolgáló elektronikai alkatrész. Fényérzékeny alkatrészrel, fotodiódával kombinálva a fényt elektronikus jelekké alakító eszköz.

¹⁸ IIR – Imaging Infrared – képalkotó infravörös

¹⁹ a franci és spanyol *Tiger Had/HAC* harci helikoptereken

	PARS 3 LR
Hossza [m]	1,6
Törzs Ø [mm]	159
Fesztáv [m]	0,43
Tömeg [kg]	49
Harcirész tömege [kg]	4,5
Harcirész típusa	T HEAT
Írányítás	PIR (IIR)
Hajtómű	szilárd hajtóanyagú
Hatótávolság [km]	0,5–6

2. táblázat A **PARS 3 LR** irányítható páncéltörő rakéta harcászati-technikai adatai [8][9][13][14][16][17]

HOT²⁰

A hatvanas évek közepén Franciaország és Németország megállapodást kötött egy közös fejlesztésű *Haut subsonique Optiquement téléguided tiré d'un Tube* (HOT – high subsonic optically tracked tube-launched anti-tank missile) harcjárművekről és helikopter fedélzetéről is indítható páncéltörő rakéta fejlesztéséről. A statikusan harcjárműről alkalmazható változat mellett megjelent helikopter fedélzeti is, mely nagymértékben megnövelte a csapatok páncéltörő képességét. Az infravörös felderítő berendezésnek köszönhetően a rakéta nagyobb indítási távolsággal rendelkezik. A rendszerhez tartozik egy irányzóvonal stabilizátor és egy fedélzeti számítógép, mely kompenzálja a célzókészülék és az indítósín közötti szögeltérést.



3. kép **HOT** rakéta [27]

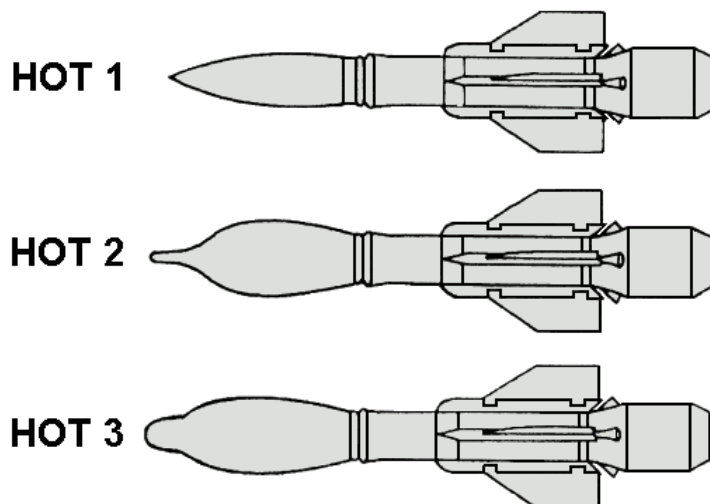
Az első helikopterfedélzeti, integrációs lövészet 1978-ban volt. A rendszert alkalmassá tették *Daiphin*, *Gazelle* és *Lynx* helikopterfedélzetéről történő indításra. Az első harcrendbeállított eszköz a francia hadsereg –fülketetőre szerelt **APX 397** girostabilizált nappali irányzóval rendelkező – **SA 342M Gazelle** helikopteren jelent meg 1980-ban.

A változó követelmények miatt viszonylag gyorsan megjelent a továbbfejlesztett irányítási rendszerrel és erősebb harcirésszel szerelt **HOT 2** (**HOT K150** néven is emlegetik, mert a harcirész űrmérete, a nagyobb hatóerő miatt, megnövekedett a korábbi 136 mm-ről 150 mm-re)²¹. A robbanótöltet megváltoztatásával hatékonyabb páncélatütést értek el. A **HOT 2** rakéta belső struktúráját – a berendezések elhelyezkedését – is megváltoztatták, illetve áttervezték azokat, annak érdekében, hogy a megnövekedett

²⁰ HOT – *Haut subsonique Optiquement téléguided tiré d'un Tube* (francia)– high subsonic optically tracked tube-launched anti-tank missile (angol) – hangsebesség alatti optikai irányítású, csőből indított páncéltörő rakéta

²¹ Innentől kezdve nevezik az első változatot **HOT 1**-nek

harcirész méretett kompenzálják. Ennek következtében nem változott az induló tömege és nem kellett módosítani a helikopter fedélzeti berendezéseken sem. A **HOT 2**-t 1985-ben kezdték rendszerbe állítani. A fejlesztés 1987-ben folytatódott egy tandem kumulatív harcirész kifejlesztésével, mely képes áttüni a reaktív páncéllal (ERA²²) ellátott harcjárműveket. Kezdetben **HOT 2T** típusjelzést alkalmaztak, de később áttértek a **HOT 3** használatára, melyet 1993-ban állították rendszerbe. A továbbiakban egy többrendeltetésű harcírész fejlesztettek ki, mely a **HOT 2MP**²³ típusjelzést kapta, de **HOT 2 Polyvalante**²⁴ néven is emlegetik, mely a kumulatív hatás kiegészítésre került gyújtó- és repeszhatással.



9. ábra **HOT** rakéták [26]

A francia csapatrepülő kérésének eleget téve, a **Gazelle/HOT** rendszert alkalmassá tették az éjszakai bevethetőségre. Az **APX 397** célzó berendezést lecserélték a **Vivian** bármely napszaki célzó rendszerre, mely magában foglalja a nappali, optikai kamerát, egy éjjellátó **Victor** hőkamerát, egy rakéta helyzetét meghatározó és egy lézertáv mérőt. A tesztelést **Gazelle** és **Panther** helikopterekkel végezték el, illetve a **Tiger** harci helikopter forgószárny-ágyra szerelt **Osiris** célzó rendszerével is és a mai napig üzemeltetik azokat.

A **HOT** rakéta egy rövid hatótávolságú, csőből indítható, vezetékes távirányítású, szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművel szerelt, kumulatív harcírészrel rendelkező páncéltörő rakéta. Függesztése a helikopterre egy speciális keret segítségével történik, ami a kettő vagy négy indítócső rögzítésére szolgál.

Mindhárom változatban a rakéta törzsének átmérője 136 mm, ami csak az orr részben elhelyezkedő harcírészben növekszik meg 150 mm-re. A törzs középső részén található a kinyíló szárnyak, melyek mögött a szilárd hajtóanyagú gyorsító hajtómű négy fűvókája helyezkedik el. A rakéta hátsó rekeszében az irányító modul, a termo akkumulátor, a távirányítás vezetéke, az irányító jel dekódere, egy girosztabilizáló egység, az infravörös nyomjelző és egy gázsugárkormány található.

²² ERA – Explosive Reactive Armour – reaktív páncél

²³ MP – multipurpose – többrendeltetésű, több célú

²⁴ polyvalante – többhatású

A három változat harcírésze jelentősen eltér egymástól. A **HOT 1**-é ugyanúgy 130 mm-es átmérőjű, mint a rakéta törzse és 3 kg nagyhatóerejű robbanóanyagot (HE) tartalmaz, mellyel a páncélatütő képessége maximálisan 850 mm, RHA²⁵ esetében. A maximális indítási távolsága 4 km. A **HOT 2** rakéta csak a harcírészeben tér el az előzótól, melynek 150 mm-re növekedett az átmérője, így 4,1 kg robbanóanyagot tartalmaz. A páncélatütő képessége, RHA esetében 850 mm-re. A **HOT 2MP** több rendeltetésű harcírésze csak a belső kialakításában különbözik, mely 350 mm-es páncélatütő képességgel rendelkezik, de a kumulatív töltetet körülveszi 1000 db előregyártott repesz (acélgolyó) is, ami megnöveli az élőerő elleni hatékonyságot. A **HOT 3** rakéta már ránézésre is különbözik az előző változatoktól, tompább és vastagabb orr részt kapott. A leglényegesebb változás a 6,5 kg tömegű, tandem elrendezésű kumulatív töltet, mellyel képes átütni a reaktív (ERA) rendelkező harcjárművet is. A maximális páncélatütő képessége 1250 mm, RHA esetében. Lényeges különbség a korábbi harcírészekhez képest, hogy a csapódógyújtó helyett, egy infravörös közelségi gyújtó indítja annak robbanását. A **HOT 3** maximális indítási távolsága 4,3 km.

Mindhárom változat irányítási rendszere félautomatikus, vezetékes parancsirányítás, az indító helikopterről. A célbefogás a tetőre szerelt csak nappali **APX 397** vagy az bármely napszakban alkalmazható **Viviane** berendezés segítségével valósulhat meg. A **Viviane** előnye még, hogy rendelkezik egy lézer távmérővel is. A célzóberendezés a helikoptervezető elé vetít egy műhorizontot, amihez képest a célzás során $\pm 5^\circ$ -ot eltérhet, de a helikopter belengése maximálisan 10° -ig megengedett a rakéta indításakor.

Az indítási ciklus a során először a termo akkumulátor jön működésbe és ellátja a rakétát különböző feszültségű elektromos árammal. Közel vele egy időben egy lőporos nyomás akkumulátor felpörgeti a giroszkópot, majd a rakétahajtómű begyújtása következik. A gyorsító hajtómű segítségével a rakéta 0,9 s alatt eléri a 240 m/s-os sebességet, amit a menethajtómű 17,5 s-ig fenntart. A négy szárny az indítócső elhagyása után kinyílik és a gyorsító fokozat fűvókáival együtt biztosítja a rakéta hossz tengely körüli adott szögsebességű forgását.

A rakéta irányítása a **távírányítás vagy parancsirányítás** című rész szerint valósul meg, azzal a kiegészítéssel, hogy a nyomjelzője ebben az esetben egy aktív infravörös berendezés, mely frekvenciáját össze kell hangolni a helikopter fedélzetén található pelengátoréval²⁶. Ezzel biztosítja a rendszer a zavarvédeltséget.

Az átlagos repülési ideje 2 km távolságra 9 s, 3 km-re 13 s, 4 km-re pedig 17,3 s.

²⁵ RHA – Rolled Homogeneous armour – hengerelt homogén páncél

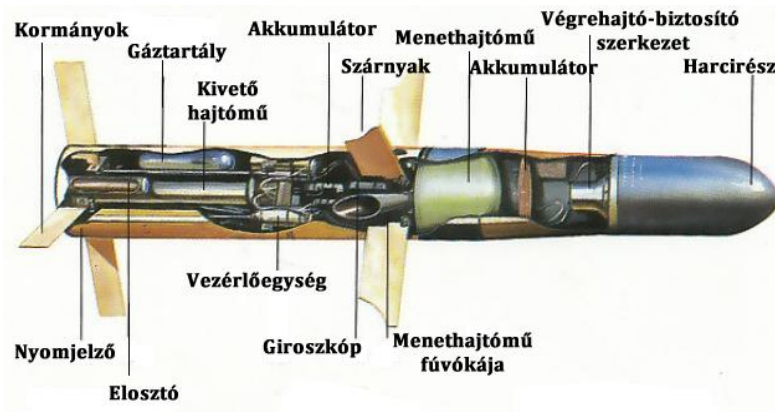
²⁶ A leírásokból nem derül ki, de feltételezésem szerint nem elsősorban frekvencia szerinti egyeztetésre van itt szükség, hanem a kód csoporton belül, a helikopteren beállított kódra való hangolásról, hiszen a rakéta leghátsó rekeszében a leírások szerint egy dekódoló is található. A kódok segítségével oldható meg, hogy az egymáshoz közel tevékenykedő helikopterek ne zavarják a másik rakétáját. (*A szerző megjegyzése.*)

	HOT 1	HOT 2/2MP	HOT 3
Hossza [m]	1,27	1,3	1,3
Törzs Ø [mm]	136	150	150
Fesztáv [m]	0,31	0,31	0,31
Tömeg [kg]	23,5	23,5	32,5
Harcirész tömege [kg]	5	5	6,5
Harcirész típusa	HEAT	HEAT MP	T HEAT
Gyújtó	csapódó	csapódó	IR
Irányítás	WG SACLOS		
Hajtómű	szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű		
Hatótávolság [km]	4	4	4,3
Páncéltűrőképesség [mm]	850	850/350+1000 db repsz	1250

3. táblázat A *HOT* irányítható páncéltörő rakéta harcászati-technikai adatai [7][25]

BGM-71 TOW²⁷

Több variációban gyártott, csőből indítható, optikai irányítású, vezetékes távirányítású páncéltörő rakéta. A *BGM-71A/B* változata (10. ábra) a hetvenes években jelent meg az *AH-1S Cobra* helikopterekhez. Alkalmazható szárazföldi eszközként is, vállról vagy harcjárműről indítható változatban, de indítható helikopter fedélzetéről is. A különböző modifikációkat az abc betűvel *A*-tól *H*-ig jelölik.



10. ábra *BGM-71 TOW*

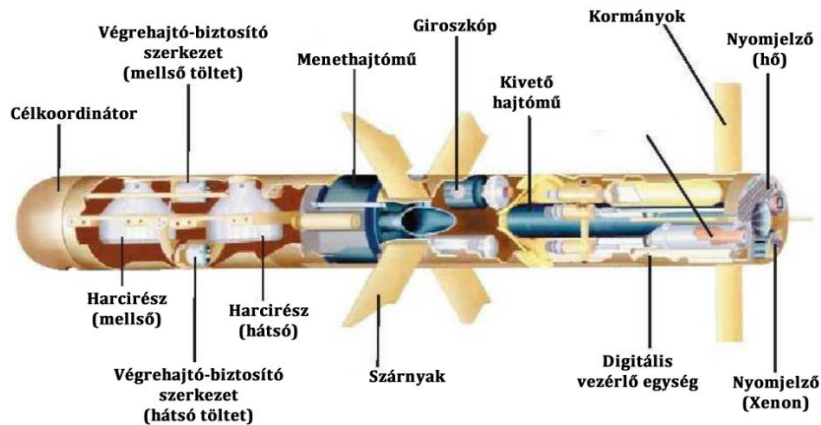
Az első változatot 1970-ben rendszeresítették. A következőt, a *BGM-71F TOW 2B*-t (11. ábra) 1988-ban állították rendszerbe, majd a 2000-es évek elején a gyártó – Raytheon – a Lockheed Martin-nal közösen (ez a vállalat gyártja az *AGM-114 Hellfire*-t) JAGM²⁸ néven a két rakéta leváltásán dolgozott, de anyagi okok miatt 2008-ban törölték a programot.

Az első változattól kezdve folyamatosan fejlesztették az eszközt. A *C* modifikáció egy érdekes, a rakéta orr részre szerelt vékony nyúlványt kapott (12. ábra). Valószínű ebbe helyezték el a csapódógyújtó kontaktadóját. (A leírásokban nem találtam rá utalást. A szerző megjegyzése.) Ezzel 380 mm-rel nőtt meg a rakéta hossza. A következő *D* változat még ehhez képest is 80 mm-rel lett hosszabb, igaz itt már az átmérő is megnövekedett 2 mm-rel. A változtatásoknak köszönhetően az induló tömege 21,5 kg-ra, a harcirésze pedig 5,72 kg-ra nőtt. Ezt már a *TOW 2* jelölést kapta. Az *E*

²⁷ Tube-launched, Optically tracked, Wire-guided – csőből induló, optikai irányítású, vezetékes távirányítású

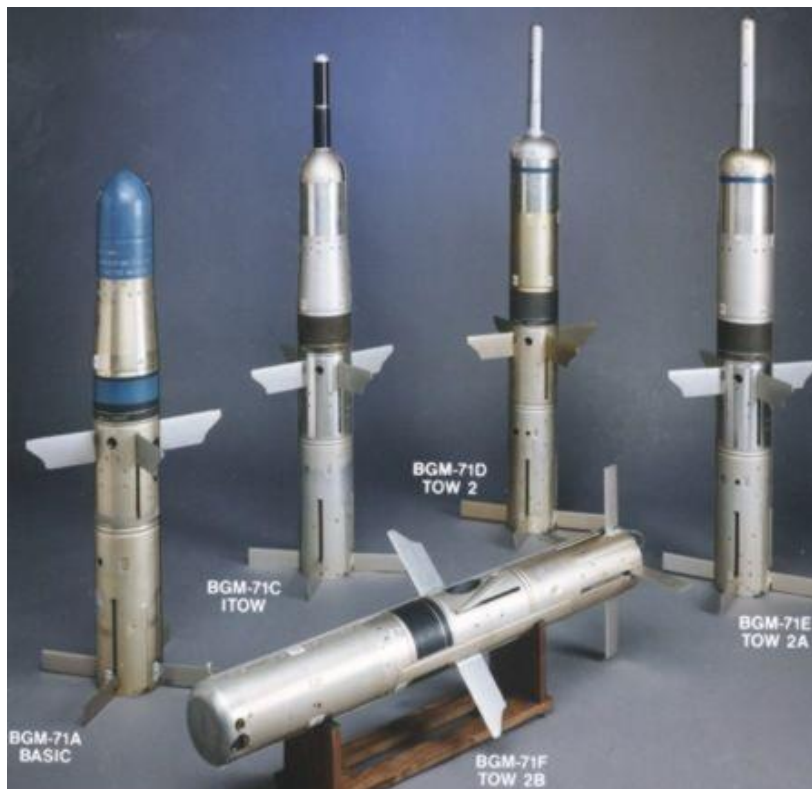
²⁸ JAGM – Joint Air-to-Ground Missile – egyesített levegő-föld rakéta

változat geometriai méretei nem változtak, de a korszerűsödő elektronikának köszönhetően, ismételen növekedett az induló tömeg 22,7 kg-ra, a harcírész tömege pedig 6,09 kg-ra. Ebben a modifikációban található meg először a tandem kumulatív harcírész. A legutolsónak fejlesztett az *F*, melyről lekerült az ornyúlvány és egy viszonylag jellegzetes tompa orrot kapott. Az induló tömege változatlan maradt, de ennek ellenére a harcírész tömege növekedett 6,14 kg-ra.



11. ábra *BGM-71F TOW 2B*

2006-ban a Raytheon szerződést kötött a US Army-val egy vezeték nélküli *TOW 2A* kifejlesztésére. Ezt csak föld indítású változatként rendszeresítették annak ellenére, hogy a Raytheon kifejlesztette hozzá a helikopter fedélzeti rádió parancsközlő berendezést is. Jelenleg ez a csak exportra készül.



4. kép *BGM-71 TOW* különböző változatai [28]

A rakéta mindegyik változata indító konténerben – indító csőben – található, melynek méretei: 1,28 m hosszú és 218 mm átmérőjű.

	BGM-71				
	A/B TOW	C ITOW ²⁹	D TOW 2	E TOW 2A	F TOW 2B
Hossza [m]	1,17	1,45	1,53	1,53	1,17
Törzs Ø [mm]	150	150	152	152	152
Fesztáv [m]	0,45				
Tömeg [kg]	19	19	21,5	22,7	22,7
Harcirész tömege [kg]	4	4	5,72	6,09	6,14
Harcirész típusa	HEAT	HE	HEAT	T HEAT	T HEAT
Irányítás	WG SACLOS				
Hajtómű	szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű				
Hatótávolság [km]	4				

4. táblázat A **BGM-71** irányítható páncéltörő rakéta harcászati-technikai adatai

9M17MP „Falanga”³⁰ (AT-2 „Swatter-C”)

Az **AT-1** járműfedélzeti irányítható páncéltörő rakétával egy időben fejlesztették ki és alkalmazták harcjárművekről és helikopter fedélzetéről indítva. A **Mi-24D** széria kiöregedésével és/vagy felújításával, folyamatosan lecserélték valamelyik korszerűbb változattal. Már nem gyártják [20]. Mivel hazánk és számos ország hadseregében sokáig rendszerben volt, így az összehasonlító számítások során figyelembe vettem, hogy érzékelhető legyen az elmúlt évtizedek fejlődése [1].

9M114 „Sturm” (AT-6 „Spiral”)

A „Falanga” rakéta leváltására készült (5. kép) a **Mi-24V/P** helikopterekhez. Ez komoly előrelépés volt, mert a „Sturm” sebessége meghaladja a hang terjedési sebességét. Ez a harmadik generációs irányítható páncéltörő rakéta jelenleg is rendszerben van számos országban, a **Mi-24V/P** helikopterek alapvető páncéltörő eszközeként. Irányítási rendszere fél-automata rádió-parancsirányítású (RCL SACLOS³¹). Indítása csőből történik, mely tároló és szállító eszköze is egyben. A parancsközlő rendszer 35 GHz-es frekvencián működik és lehetővé teszi tíz darab rakéta (tíz helikopterről azonos időben) egyidejű rávezetését, ugyanis öt frekvencia sávval és két kóddal rendelkezik. A rávezető leggyengébb része az optikai irányzék, mivel csak nappal, jó látási viszonyok mellett teszi lehetővé a rávezetést. A rakéta kétfokozatú hajtóművel rendelkezik, melyből az első a kivető-hajtómű, ami 55 m/s-os indítócső elhagyási sebességre gyorsítja fel a rakétát. A második fokozat 540 m/s elérését biztosítja. A rakéta harcirésze piezoelektromos csapódógyújtóval szerelt kumulatív hatású, mely 700 mm homogén, hengerelt páncél átütésére képes [1][34].

²⁹ ITOW – Improved TOW – feljavított TOW

³⁰ Az orosz rakéták esetében két elnevezést használok, mert az angol irodalmakban a NATO elnevezéssel és fedőnevekkel szerepelnek pl.: **AT-2 „Swatter-C”**. Az orosz nyelvű irodalmakban, illetve az abból fordított magyar nyelvű szabályzatokban, leírásokban pedig az orosz elnevezése fordul elő, pl.: **9M17MP „Falanga”**. (Szerző megjegyzése)

³¹ RCL SACLOS – Radio Command Link Semi-Automatic Command to Line of Sight – félautomata rádió-parancsirányítás



5. kép 9M114 irányítható páncéltörő rakéta[34]

Az alapváltozaton kívül még két modifikációja létezik 9M114M1 (AT-6B) és 9M114M2 (AT-6C), melyek nagyobb indítási távolsággal rendelkeznek és megnövelték a harcirész tömegét 7,4 kg-ra, így a páncélatütő képessége, egyes források szerint eléri az ~1000 mm-t. Folytak kísérletek tandem kumulatív harcirész felszerelésével is, de ez a változat már egy új típuszámot és nevet kapott (lásd 9M120 „Ataka-V” [1][7][20]).

9M120 „Ataka-V” (AT-9 „Spiral-2”)

A 9M114 továbbfejlesztett változata (6. kép). Tandem kumulatív harcirészt és nagyobb energiájú hajtóművet kapott. Az indítórendszere teljesen kompatibilis az 9M114 rakétával, alapvetően annak leváltására készült. Az elnevezésben szereplő V a helikopter fedélzetről történő alkalmazásra utal, ugyanis létezik egy hajófedélzetről indítható változata is. [1][7][20]



6. kép 9M120 Ataka-V [35]

	9M114	9M120
Hossza [m]	1,63	1,83
Törzs Ø [mm]	130	130
Fesztáv [m]	0,3	0,3
Tömeg [kg]	35	49,5
Tömeg az indítócsővel [kg]	48,5	–
Harcirész tömege [kg]	5,4	8
Harcirész típusa	HEAT Anti-Tank	T HEAT Anti-Tank
Gyújtó	csapódó	
Irányítás	RC SACLOS	
Hajtómű	szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű	
Hatótávolság [km]	6	8
Páncélatütőképesség [mm]	700	950

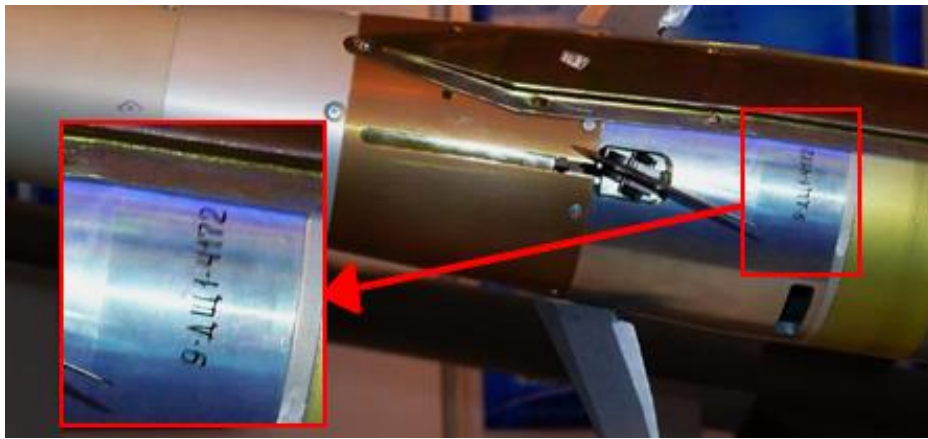
5. táblázat A 9M114 „Sturm” és 9M120 „Ataka-V” rakéták adatai

9A4172 „Vikhr” (AT-16 „Scallion”)

Már az elején tisztázni kell néhány fontos dolgot:

évek óta ellentmondásos leírások jelennek meg a szovjet/országi hadiipar az **9A4172 „Vihar” (AT-16 „Scallion”)** repülőfedélzeti páncéltörő rakétájáról. Számos helyen keverik össze az **9M120 „Ataka-V” (AT-9 „Spiral-2”)** rakétával, pl. [21] forrásmunkában is.

HEWSON, Robert IHS Jane’s Weapons Air-Launched 2012–2013 pp. 117-118 szakirodalmi forrásban található típus megjelölés hibás. Igaz csak egy elírásról lehet szó, mert a szerző **9M1472** jelöléssel említi a rakétát, holott több orosznyelvű irodalmi hivatkozás is **9A4172** típusjelöléssel illeti [29][30][31][32][33], illetve ez az 7. képen is jól kivehető, valamint a szerző 2015-ben megjelent *Aviation anti-tank missile AT-16 „Scallion” (9A4172 „Vikhr”)* című publikációjában [2] tisztázza ezeket a félreértéseket;



7. kép A **9A4172 „Vikhr-M”** rakéta jelölése a MAKSz-2013³² kiállításon [36]

a rakéta jelölése, **9A4172**, nem illeszkedik a megszokott sorba. Amennyiben figyelemmel kísérik a szovjet/országi rakéta szám-betű kombinációkat, akkor korábban, már a abból tudni lehetett, hogy milyen eszközről van szó. Pl. **9M17**; **9M114**, **9M331**, **9M31** esetében a **9M** jelölésből tudni lehet, hogy irányítható rakétáról van szó. Ilyen értelemben a **9A** nem értelmezhető, okát nem ismerem [20].

Az irányítási rendszerét tekintve sem hagyományos ez az eszköz, ugyanis lézer sugárnyaláb irányítású³³. Korai információk ezt félaktív lézer irányításnak fordították, értelmezték. Az első fényképek (lásd 8. kép) megjelenésekor szembetűnő volt, hogy a rakéta orr részében nincsen célkoordinátor, vagyis nem lehet ilyen [2]. A célkoordinátor hiánya egy másik tévedésre is okot adott. Jelent meg olyan beszámoló a rakétáról, amely nemirányíthatónak titulálta. Ez is tévesnek bizonyult. Az irányítás típusa miatt a hordozó repülőeszközök típusa is korlátozott, ugyanis a **Ka-50/52** harci helikopter és a **Szu-25T** harcászati repülő rendelkezik olyan eszközzel, mellyel a rakéta együttműködése biztosított [29][30][31][32][33].

Az itt használatos lézer sugárnyaláb irányítás, a parancsirányítás egyik típusa, melyet már korábban is alkalmaztak, csak a vezető nyaláb rádió sugárnyaláb volt. A leírások szerint [30] a repülőeszköz

³² MAKSz – МАКС Международный Авиационно-Космический Салон, Nemzetközi Repülési-űrhajózási Szalon

³³ lézer sugárnyaláb irányítás: angolul: line-of sight beam riding guidance (LOSBR), oroszul: по лучу лазера

fedélzetén található – a **9K121** komplexum részét képező – **I-251 „Skval”** bármely napszakban alkalmazható lézer célmegjelölő berendezéssel kell az operátornak (pilótának) megjelölnie a célt.



8. kép **9A4172 „Vikhr-M”** rakéta

A visszaverődött lézer jelek alapján a repülőeszköz fedélzeti számítógép kiszámítja a rakétának továbbítandó parancsjeleket, majd azt a célmegjelölő lézer sugár segítségével kisugározza a rakéta-cél irányába. Így a rakéta úgymond „meglovagolja” a lézer sugarat. Innen ered az angol elnevezése is.

	9A4172 „Vikhr-M”
Hossza [mm]	2750
Törzs Ø [mm]	130
Kormányok fesztáv [mm]	240
Stabilizátorok fesztávolsága [mm]	380
Tömeg [kg]	45
Tömeg az indítócsővel [kg]	59
Harcirész tömege [kg]	12
Harcirész típusa	T HEAT Anti-Tank
Gyújtó	csapódó
Írányítás	LOSBR ACLOS ³⁴
Hajtómű	szilárd hajtóanyagú
Hatótávolság [km]	6
Páncéltűtőképesség [mm]	1000

6. táblázat A **9A4172 „Vikhr-M”** rakéta adatai [2][30]

„Mokopa”

A rakétát (9. kép) az **AH-2 (CSH-2) „Rooivalk”** harci helikopterhez fejlesztette a Denel Corporation, melynek alapváltozata félaktív lézer önirányítású: Az eredeti elképzelések szerint félaktív rádió önirányítású és képalkotó infravörös önirányítású változatban is tervezték a gyártását, de a megvalósulásról nincsenek információk. Az indítása történhet LOBL (befogás az indítás előtt) és LOAL (befogás az indítás után) üzemmódokon [22][1][7].

³⁴ LOSBR ACLOS – Line-of Sight Beam Riding Guidance Automatic Command to Line of Sight – automata lézersugárnyaláb parancsirányítás



9. kép *Mokopa (ZT6)* rakéta [22]

	Mokopa
Hossza [mm]	1995
Törzs Ø [mm]	178
Tömeg [kg]	49,8
Harcirész tömege [kg]	12
Harcirész típusa	T HEAT Anti-Tank
Gyújtó	csapódó
Irányítás	SALH
Hajtómű	szilárd hajtóanyagú
Hatótávolság [km]	10
Páncéltűrőképesség [mm]	1350

7. táblázat A *Mokopa (ZT6)* rakéta adatai [1][7]

IRÁNYÍTHATÓ PÁNCÉLTÖRŐ RAKÉTÁK ÖSSZEHASONLÍTÁS

A harci helikopterek egyik nagyon fontos minőségi jellemzője a fedélzeti fegyverek hatékonysági mutatója, ezért lényeges kérdés, hogy valamilyen objektív módon összehasonlíthassuk ezeket.

Erre kidolgoztam egy módszert, melyet a doktori kutatásaim során publikáltam és a dolgozatom egyik fő része volt. Ebben a cikkben a kutatás folytatásáról írok, melyben az összehasonlító eljárást a harci helikopterek irányítható páncéltörő rakétáira alkalmazom. Természetesen ugyanazon módszer segítségével nem lehet ezeket az eszközökre összehasonlítani, ezért a számításaim során a korábban jól bevált elmélet szerint végzem el a vizsgálatot, csak a paramétereket (adatokat) válogatom meg másképpen.

A kidolgozás során, sokat kutattam, szakkönyveket tanulmányoztam, kereséseket folytattam az Interneten és arra a megállapításra jutottam, hogy egy olyan módszert kell keresni, amelyet a jelenleg elérhető publikus adatokkal is el tudok végezni. A harci helikopter fedélzeti fegyvereinek gyártói nem fognak kiadni olyan információkat, amit technológiai, ipari, vagy hadititokként kezelnek, csak akkor, ha már megvásároltuk az adott fegyver típusát, vagy hivatalos pályázati eljárást hirdettünk meg. (Sőt ekkor is csak meghatározott titokvédelmi előírások betartásával!) Ezért abból az egyszerű feltételezésből indultam ki, hogy kereskedelmi okok miatt elég sok információt közzétesznek a gyártók, különböző hadiipari kiállításokon, fegyverkatalógusokban és Internetes honlapjukon, illetve léteznek olyan fanatikus gyűjtők, akik ezeket az információkat összegyűjtik és megosztják a közvéleménnyel. Megvizsgáltam a harci helikopterekkel és az alkalmazható fegyverekkel kapcsolatos információimat. Rendszereztem a begyűjtött adatokat, amelyek az 8. táblázatban találhatók. Az összegyűjtött adatok közül a legfontosabbakat – a vizuális összehasonlíthatóság érdekében – grafikusan is ábrázoltam (12 és 13. ábrák).

Jellemzők/Típus	PARS 3 LR Trigate	HOT3	AGM-114R Hellfire II	TOW BGM-71E	9M17MP Falanga	9M114 Sturm	9M120 Ataka-V	9A4172 Vikhr	Mokopa
Úrméret [mm]	150	150	178	150	148	130	130	130	178
Tömeg [kg]	49	24	49,4	22,6	29	31,4	48,5	45	49,8
Hossz [mm]	1500	1270	1630	1400	1160	1625	1830		1995
Min. indítási távolság [m]	500	75	500	–	500	400	400	400	–
Max. indítási távolság (D_{max}) [m]	8000	4300	8000	3750	4000	5000	6000	10000	10000
Repülési sebesség [km/h]	2000	900	1530	–	540	1600	2000	2200	1200
Páncéltűrő képesség (L) [mm]	900	700	1000	800	600	700	800	1000	1350
HR típusa	T HEAT	T HEAT	T HEAT	T HEAT	HEAT	HEAT	T HEAT	T HEAT	T HEAT
HR tömege [kg]	9	5–6	9	~4–5	5,4	5,3	5–8	~6–8	~7–10
Irányítás típusa	PIR	WG SACLOS	SALH SARH	WG SACLOS	RCL SACLOS	RCL SACLOS	RCL SACLOS	LOSBR ACLOS	SALH
P – megsemmisítési valószínűség	~0,9	~0,85	0,96	~0,85	0,67–0,9	0,7–0,9	0,7–0,9	0,8–0,95	~0,9

HEAT – High Explosive Anti-tank – nagy hatóerejű kumulatív
T HEAT – Tandem HEAT – tandem kumulatív
PIR – Passive InfraRed – passzív infravörös
SALH – Semi-Active Laser Homing – félaktív lézer önirányítású
SARH – Semi-Active Radar Homing – félaktív rádió önirányítású
WG SACLOS – Wire-Guided Semi-Automatic Command to Line of Sight – vezetékess félautomata parancsirányítású
RCL SACLOS – Radio Command Link Semi-Automatic Command to Line of Sight – félautomata rádió-parancsirányítású
LOSBR – Line-of Sight Beam Riding Guidance – lézersugárnyaláb irányítású
ACLOS – Automatic Command to Line-of-Sight – automata parancsirányítású

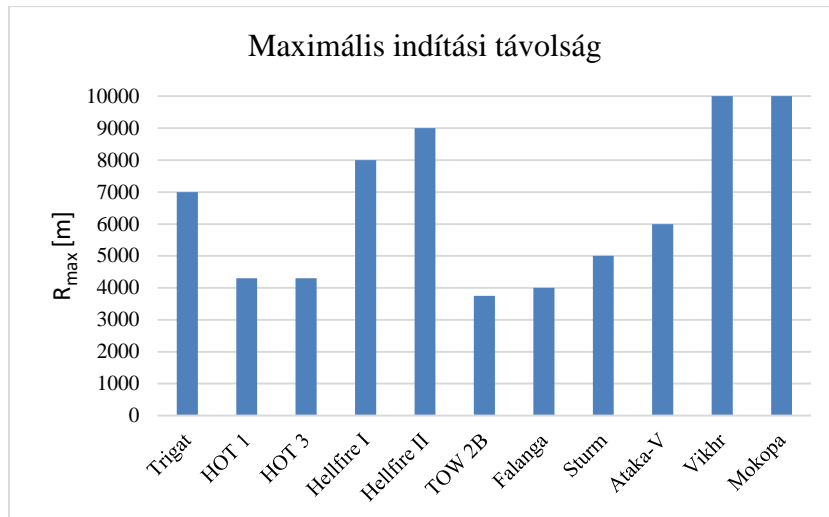
8. táblázat A páncéltörő irányítható rakéták harcászati-technikai adatai

Összegyűjtött **irányítható páncéltörő rakéták** jellemző paramétereit alapján elvégeztem a **fajlagos harcirész terhelés** (ξ) számítását (1). A fegyvertechnikai eszközök esetében létezik egy **töltési tényezőnek** nevezett arányszám, mely a harcirészben található robbanóanyag és a megsemmisítő eszköz teljes tömegének a hányadosa. Ezt a paramétert elsősorban a **hagyományos bombákra** alkalmazzuk, ahol viszonylag egy jó mutatót képez, hogy mennyi a bomba robbanóanyag tartalma a teljes tömegéhez képest.

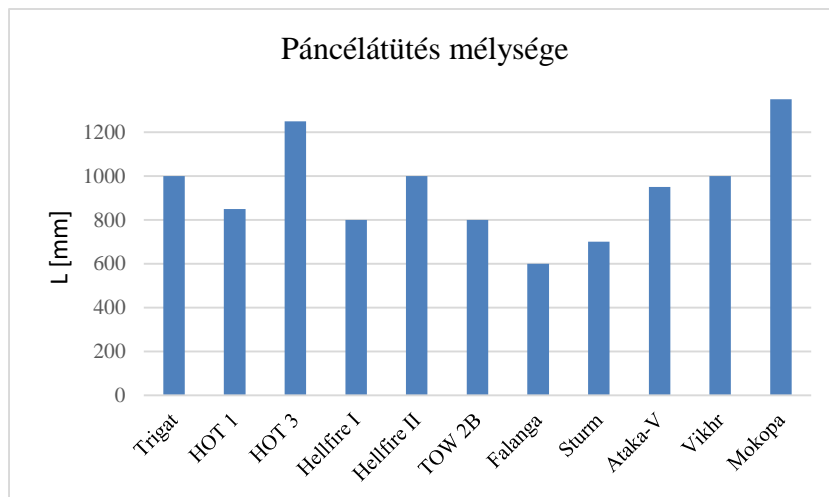
A számítás során a fajlagos fegyverterhelést (ξ – kszí) a harcirész tömege és a maximális induló tömeg hányadosaként számítottam. Az így kapott mértékegység nélküli szám, a hasznos terhelés értékét mutatja meg tizedes formában:

$$\xi = \frac{m_{hr}}{m_{ir}} \quad (1)$$

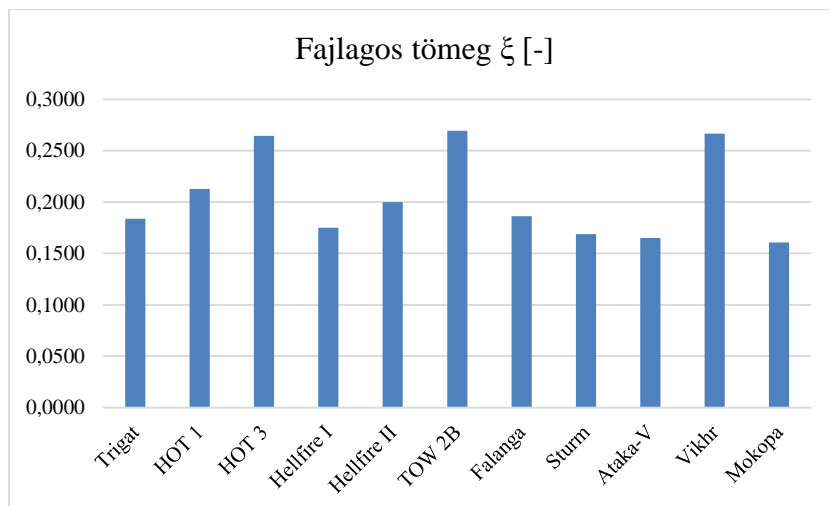
ahol m_{hr} – az irányítható rakéta harcirészének tömege *kg*-ban;
 m_{ir} – az irányítható rakéta induló tömege *kg*-ban.



12. ábra Az irányítható páncéltörő rakéták maximális indítási távolsága



13. ábra Az irányítható páncéltörő rakéták páncéltűtési mélysége



14. ábra Fajlagos tömeg ξ

A fajlagos fegyverterhelés ξ (14. ábra) az irányítható páncéltörő rakéta összehasonlítására nem ad olyan korrekt eredményt, mint például a hagyományos bombák esetében. Ezért az összehasonlítás során arra törekedtem, hogy az irányítást tükröző jellemző értéket is – a megfelelő mértékben –

belevigye a számításba. Ugyanezt az elvet követtem a harcirészre kialakított arányszámoknál is. Mindkettő esetében a korszerűbb kapta a magasabb értéket. Az átlagot jelöltem 1,0-val és ehhez képest toltam el a korszerűbb eszközt felfelé, a korszerűtlenebbet pedig lefelé. Általában 0,2-es eltolást alkalmaztam, mind lefelé, mind felfelé. Ez alól a **PARS 3 LR** rakéta volt csak kivétel, mert az passzív infravörös irányítási rendszerét +0,1-del toltam csak el a félaktívakhoz képest.

Harci hatékonysági együttható (Φ)

A számításokhoz a korábbi táblázatból (8. táblázat) elhagytam néhány adatot, illetve kiegészítettem néhány a számításhoz fontossal, valamint a jobb összehasonlíthatóság érdekében a **HOT1** és az **AGM-114 Hellfire I** rakétáival (9. táblázat).

Jellemzők/Típus	PARS 3 LR Trigat	HOT 1	HOT 3	AGM-114A Hellfire I	AGM-114R Hellfire II	BGM-71E TOW 2B	9M17MP Falanga	9M114 Sturm	9M120 Ataka-V	9A4172 Vikhr	Mokopa
Tömeg [kg]	49	23,5	24	49,4	49,4	22,6	29	31,4	48,5	45	49,8
D_{max} [m]	8000	4000	4300	8000	8000	3750	4000	5000	6000	10000	10000
L [mm]	900	850	1250	1000	1000	800	600	700	800	1000	1350
Harcirész típusa	T HEAT	HEAT	T HEAT	T HEAT	T HEAT	T HEAT	HEAT	HEAT	T HEAT	T HEAT	T HEAT
k_1 a HR szorzója	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,2	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2
HR tömege [kg]	9	5	6,48	8	9	6,09	5,4	5,3	8	12	8
Irányítás típusa	PIR	WG SACLOS	WG SACLOS	SALH	SALH SARH	WG SACLOS	RCL SACLOS	RCL SACLOS	RCL SACLOS	LOSBR ACLOS	SALH
k_2 az irányítás szorzója	1,3	0,8	0,8	1,2	1,2	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2
P	0,9	0,85	0,85	0,96	0,96	0,85	0,9	0,9	0,9	0,95	0,9
Fajlagos tömeg ζ	0,1837	0,2128	0,2645	0,1751	0,2000	0,2695	0,1862	0,1688	0,1649	0,2667	0,1606
Harci hatékonysági együttható Φ	0,49	0,13	0,37	0,32	0,68	0,18	0,11	0,15	0,28	1,00	0,77

9. táblázat Az összehasonlító számítások során alkalmazott adatok

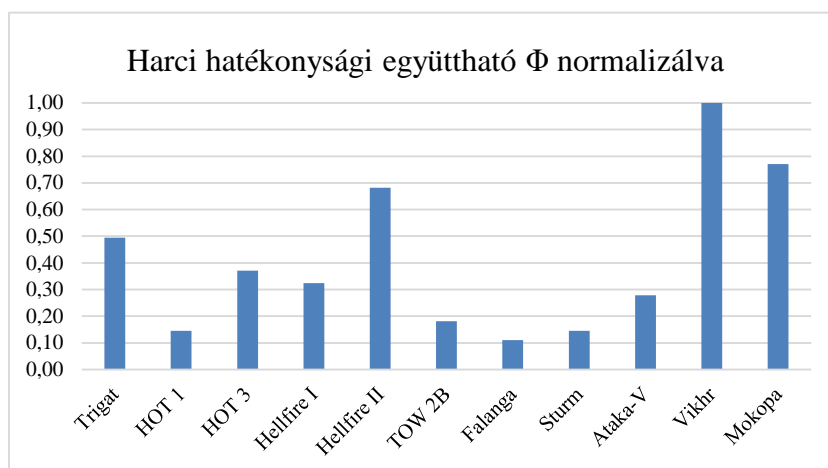
A hatékonysági együtthatót (Φ) a következőképpen számítottam:

$$\Phi = \xi \cdot R_{max} \cdot L \cdot P \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{1}{\varphi_{max}} \tag{2}$$

- ahol R_{max} – az irányítható páncéltörő rakéta maximális indítási távolsága m -ben;
- L – az irányítható páncéltörő rakéta maximális páncélátütő képessége, hengerelt homogén páncél esetében (RHA) m -ben;
- P – az irányítható páncéltörő rakéta találati valószínűsége;
- k_1 – az irányítható páncéltörő rakéta harcirész együtthatója;
- k_2 – az irányítható páncéltörő rakéta irányítási együtthatója;
- $\varphi_{max} - \varphi = \xi \cdot R_{max} \cdot L \cdot P \cdot k_1 \cdot k_2$ szorzat maximális értéke.

Az általam alkalmazott összehasonlító vizsgálati módszer segítségével nyerhető 0 és 1 közötti dimenzió nélküli számérték lehetővé teszi a vizsgált harceszközök harci hatékonyságának

komplex, objektív összevetését. Ezt a könnyebb feldolgozhatóság érdekében oszlopdiaagram formájában is megjelenítettem (15. ábra).



15. ábra A harci hatékonysági együttható Φ

ÖSSZEGZÉS

A paraméterezett összehasonlító eljárás eredményeit figyelembe véve megállapítottam, hogy a legmagasabb értéket az orosz **9A4172 „Vikhr”** rakéta érte el. Ez egyáltalán nem meglepő, hiszen ez az eszköz fejlesztését és rendszerbeállítását tekintve a legfiatalabb az összes között. A legnagyobb hátránya, hogy „csak” a **Ka-50/52** harcihelikopteren és a **Szu-25T** harcászati repülőn alkalmazható, míg a többi szinte minden platformon alkalmazható.

Ebből is következik, hogy az irányítható páncéltörő rakéták rangsorolása önmagában nem határozza meg egy teljes helikopter fedélzeti irányítható páncéltörő rakétarendszer jóságát. Ahhoz szükség van a teljes fedélzeti fegyverrendszer összehasonlítására. Arra viszont kiválóan alkalmas, hogy egy harci helikopter rendszerbeállítás során, az adott helikopterhez melyik eszközt válasszuk a meglévő kínálatból. Például az **A129 CBT** helikopter alkalmas az **AGM-114R Hellfire II** és a **BGM-1 TOW** rakéták indítására is. A táblázatból és a grafikonokból is egyértelműen látható, hogy a két eszköz nem ugyanazt a kategóriát képviseli.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SZILVÁSSY László A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben, Doktori (PhD) értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2008, url: http://uni-nke.hu/downloads/konyvtar/digitgy/phd/2008/szilvassy_laszlo.pdf
- [2] SZILVÁSSY László: Aviation anti-tank missile AT-16 "Scallion" (9A4172 "Vikhr") Repüléstudományi Közlemények XXVI./3., pp. 28–33 (2014) url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2014_3/2014-3-03-0178_Szilvassy_Laszlo.pdf
- [3] SZILVÁSSY László: Az A129 (T129) harci helikopter, Repüléstudományi Közlemények XX/2., p. online, 9 p. (2009) url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2009_cikkek/Szilvassy_Laszlo.pdf
- [4] SZILVÁSSY László: Ka-52 harci helikopter, Repüléstudományi Közlemények XXIII/1., pp. 87-92, (2012), url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2012_1/Szilvassy_Laszlo_Ka-52.pdf
- [5] SZILVÁSSY László, PAPP István: A Magyar Honvédség helikoptereinek modernizációs kérdései ECONOMICA (SZOLNOK) (ISSN: 1585-6216) (4) pp. 295-304. (2015), url: <http://tudomany.szolfportal.hu/downloadmanager/details/id/3003739/>
- [6] Rafael – Lockheed Martin Python 4 Short Range Air-to-air missile (CD 2000)

- [7] HEWSON, Robert IHS Jane's Weapons Air-Launched 2012–2013, pp. 102–109, 111–118, 131–136, 153–161
- [8] GUNSTON, Bill Korszerű harci repülőgépek fegyverzete, Zrínyi Kiadó 1995, pp. 132–137
- [9] GLOBALSECURITY.ORG (AGM-114 Hellfire, (online), url: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/agm-114.htm> (2016.01.16)
- [10] LOCKHEED MARTIN AGM-114R Multi-Purpose HELLFIRE II, (online), url: <http://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed/data/mfc/pc/hellfire-ii-missile/mfc-hellfire-ii-pc.pdf> (2016.01.16)
- [11] MILITARY ANALYSIS NETWORK, AGM-114 Hellfire, (online), url: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/missile/agm-114.htm> (2016.01.16)
- [12] Collective Awareness to UXO: AGM-114 Hellfire, (e-doc), url: <http://www.cat-uxo.com/#/agm-114-hellfire-missile/4587386348> (2016.01.21)
- [13] ARMY-TECHNOLOGY.COM Trigat LR anti-armour missile, (online), url: http://www.army-technology.com/projects/lr_trigat/ (2016.01.16)
- [14] DEFENSE UPDATE PARS 3 Anti-Tank Missile, (online), url: http://defense-update.com/20060419_pars-3.html (2016.01.16)
- [15] WIKIPEDIA A szabad enciklopédia: CCD (online), url: <https://hu.wikipedia.org/wiki/CCD> (2016.01.20)
- [16] УГОЛОК НЕБА АВИАЦИОННАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ PARS 3 Trigat, (online), url: <http://www.airwar.ru/weapon/aat/trigat.html> (2016.01.16)
- [17] ARMY GUIDE Trigat, (online), url: <http://www.army-guide.com/eng/product3659.html> (2016.01.16)
- [18] ARMY-TECHNOLOGY.COM HOT Long-Range Anti-Tank Missile System, (online), url: <http://www.army-technology.com/projects/hot/> (2016.01.16)
- [19] FEDERATION OF AMERICAN SCIENTISTS (FAS) MILITARY ANALYSIS NETWORK M-220 Tube-launched, Optically-tracked, Wireguided missile (TOW) (online) url: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/tow.htm> (2016.01.16)
- [20] PARSCH, Andreas, MARTYNOV Aleksey V. Designations of Soviet and Russian Military Aircraft and Missile (online) url: http://www.designation-systems.net/non-us/soviet.html#_Listings_AT (2016.01.16)
- [21] GLOBALSECURITY.ORG Ataka-V VIKhR 9M120 AT-16 (online) url: <http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/at-16.htm> (2016.01.16)
- [22] DENEL DYNAMICS Mokopa (online) url: <http://www.deneldynamics.co.za/products/missiles/anti-armour-missiles/mokopa> (2016.01.16)
- [23] DESIGNATION-SYSTEMS.NET, DIRECTORY OF U.S. MILITARY ROCKETS AND MISSILES Boeing/Lockheed Martin (Rockwell/Martin Marietta) AGM-114 Hellfire (online) url: <http://www.designation-systems.net/dusrm/m-114.html> (2016.01.16)
- [24] GLOBALSECURITY.ORG Explosives – Compositions (online), url: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/explosives-compositions.htm> (2016.01.23)
- [25] WIKIPEDIA The Free Enciclopedia HOT (missile) (online), url: [http://en.wikipedia.org/wiki/HOT_\(missile\)](http://en.wikipedia.org/wiki/HOT_(missile)) (2016.01.07)
- [26] WIKIPEDIA The Free Enciclopedia HOT (missile) (online), url: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Euromissile_HOT.png (2016.01.07)
- [27] WIKIPEDIA The Free Enciclopedia HOT (missile) (online), url: [https://en.wikipedia.org/wiki/HOT_\(missile\)#/media/File:Long_Range_Anti-tank_Weapon_HOT_3_-_ILA2002-clean.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/HOT_(missile)#/media/File:Long_Range_Anti-tank_Weapon_HOT_3_-_ILA2002-clean.jpg) (2016.01.07)
- [28] Directory of U.S. Military Rockets and Missiles: Raytheon (Hughes) BGM-71 TOW (e-doc), url: <http://www.designation-systems.net/dusrm/m-71.html> (2016.01.21)
- [29] Ракетная техника: Противотанковый комплекс 9К121 Вихрь (online) url: <http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/vichr/vichr.shtml> (2016.01.10)
- [30] БАСТИОН Военно-технический сборник: Авиационный противотанковый ракетный комплекс 9К121 «Вихрь» («Бихп-М») Aviation antitank Missile system 9K121 «Vihr» («Vihr-M») (online) url: <http://bastion-karpenko.ru/vihr/> (2016.01.10)
- [31] MILITARY RUSSIA: 9K121/9K121M Вихрь - AT-16 SCALLION (online) url: <http://militaryrussia.ru/blog/topic-46.html> (2016.01.23)
- [32] Военное обозрение: Авиационный противотанковый ракетный комплекс "Вихрь" (online) url: <http://topwar.ru/20457-protivotankovyy-kompleks-9k121-vihr.html> (2016.01.10)
- [33] Армейский вестник: Авиационный противотанковый ракетный комплекс «Вихрь» (online) url: <http://army-news.ru/2012/11/aviacionnyj-protivotankovyj-raketnyj-kompleks-vixr/> (2016.01.10)

- [34] WeaponSystems.net: 9k114 Sthurm (online) url: [http://weaponsystems.net/weaponsystem/HH06%20-%20AT-6%20Spiral%20\(9M114\).html](http://weaponsystems.net/weaponsystem/HH06%20-%20AT-6%20Spiral%20(9M114).html) (2016.01.24)
- [35] Wikiwand: 9M120 Ataka (online) url: http://www.wikiwand.com/en/9M120_Ataka (2016.01.24)
- [36] A szerző saját munkája Adobe Fireworks képszerkesztő alkalmazással
- [37] A szerző saját munkája MS Excel alkalmazással

EXAMINING AND COMPARING AIR LAUNCHED ANTI-TANK MISSILES

The author in this article presents the guided anti-armour missiles of attack helicopters. The topic is rather up-to-date for several reasons. On one hand in the near future Hungary wants to buy military helicopters, on other hand numerous countries have already started to adopt the guided anti-armour missiles for UAVs.

Keywords: *air launched anti-tank guided missile, attack helicopter, uav*

Dr. SZILVÁSSY László
alezredes, egyetemi docens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztoképző Kar
Katonai Repülő Intézet
Fedélzeti Rendszerek Tanszék
szilvassy.laszlo@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-0455-4559

SZILVÁSSY László, PhD
Lieutenant Colonel, Associate Professor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
Department of Aircraft Onboard Systems
szilvassy.laszlo@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-0455-4559



<http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2016.pdf>

Tóth József

A REPÜLŐ MŰSZAKI TISZTI KOMPETENCIÁK KVALITATÍV VIZSGÁLATA

Az elmúlt évtizedekben a felsőoktatásban bekövetkezett változások jelentős hatást gyakoroltak a védelmi szektor felsőoktatási intézményeire, ezen belül is a repülő műszaki tisztképzésre. A képzések kimenetén követelményként jelentek meg a kompetenciák, melyek a tisztképzés tartalmi és módszertani elemeinek átalakítását tették szükségessé. A Magyar Honvédség Légierőjénél a már meglévő légi járművek mellé új repülőtechnika jelent meg, mely az üzemeltetésben tevékenykedő szakemberek szempontjából egyrészt a meglévő tudásuk, tapasztalataik átértékelését, másrészt új szemléleti, és tudáselemek megszerzését jelentette. Ennek megfelelően a tudományos igényű kutatás központi feladattá vált annak az egyensúlynak, illetve összhangnak a vizsgálata, amely a repülő műszaki tisztképzés kimenetén, és az alkalmazó, felhasználó szervezetek bemenetén elvárások formájában jelentkező kompetenciák meghatározására irányul. Jelen tanulmányban a repülő műszaki tisztek kompetenciái kvalitatív vizsgálatának metaelméleti kérdései mellett az eddig elvégzett kutatás folyamata, és eredményei kerülnek bemutatásra.

Kulcsszavak: repülő műszaki tiszti, kompetencia, metaelmélet, kvalitatív kutatás

BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedekben a felsőoktatásban bekövetkezett változások jelentős hatást gyakoroltak a védelmi szektor felsőoktatási intézményeire, ezen belül is a repülő műszaki tisztképzésre. A képzések kimenetén követelményként jelentek meg a kompetenciák, melyek a képzés tantárgyi struktúrájának, belső idő (kredit) arányainak, más tartalmi és módszertani elemeinek átalakítását tették szükségessé [14].

Ezzel parallel módon a Magyar Honvédség Légierőjénél is a repülőtechnika tekintetében jelentős, morfo-genetikusnak tekinthető változások zajlottak. A már meglévő légi járművek mellé új repülőtechnika jelent meg, míg más eszközök kivonásra kerültek az üzemeltetés rendszeréből. Az új repülőtechnika új üzemeltetési stratégia, és filozófia bevezetését követelte, mely új kihívásokat jelentett a repülő műszaki üzembentartó szervezetek vonatkozásában, és az abban tevékenykedő szakemberekkel szemben támasztott követelmények szempontjából is. A változás az infrastruktúra elemein át a műszaki üzembentartó szervezetek felépítését, a szervezeten belüli munkamegosztást, a szakszemélyzetekkel, a repülő műszaki tisztekkel szembeni szakmai elméleti és gyakorlati követelményeket is átalakította [2][3][10]. Az új üzemeltetési technológia az eddigiektől eltérő, újfajta rendszerismeretet és rendszerszemléletet követel, amely a repülő eszköz rendszereinek más típusoktól eltérő üzemeltetési rendszerfelosztásából adódik. Ez azt jelenti, hogy a repülőgép rendszereinek felosztása a hagyományos gépészeti (sárkány, hajtómű), elektromos, fegyverzeti rendszerekre való bontás helyett, olyan funkcionális egységekre történik, amelyek egyaránt tartalmaznak mechanikus, elektronikus, és/vagy fegyverzeti elemeket is. Ez a rendszerfelosztás az üzemeltetésben tevékenykedő szakemberek szempontjából egyrészt a meglévő tudásuk, tapasztalataik átértékelését, másrészt új szemléleti, és tudáselemek megszerzését jelentette.

Napjainkra szignifikáns egyensúlytalanság alakult ki a képzésből frissen kikerült repülő műszaki szakemberek tudása, és a felhasználó üzemeltető szervezetek követelményei, és elvárásai

között. Az egyensúlytalanság egyfelől bizonyos tudáselemek hiányában jelentkezett, másrészt abban, hogy túlzottan megnyúlt az az időtartam, amíg az alapképzésből kikerült tisztek alkalmassá váltak egy adott repülőgép típus üzemeltetési feladatainak önálló, felelős ellátására. Ennek megfelelően a tudományos igényű kutatás központi feladatává vált annak az egyensúlynak, illetve összhangnak a vizsgálata, amely a repülő műszaki tisztképzés kimenetén, és az alkalmazó, felhasználó szervezetek bemenetén elvárások formájában jelentkezik.

A feladat megoldásának központi kategóriájaként a kompetenciák kutatása áll, mivel a mai modern humán erőforrás gazdálkodási rendszerekben az adott munkakört betöltő szakemberekkel szemben támasztott elvárásokat kompetenciákkal írják le, és a képzési folyamat is az adekvát kompetenciák létrehozását célozza. Ebből is látható, hogy a kimenet felől szabályozott, és a kompetenciákra épülő alapképzési rendszer (tudományos kutatási eredmények felhasználásával) megalapozott kialakítása lehet az eddig vázolt probléma megoldása.

Meg kell említeni, hogy a repülő műszaki szakemberek kompetenciáinak meghatározására folytak tudományos kutatások, elsősorban az altisztek (tiszthelyettesek) szakképzésének átalakításával összefüggésben [23]. A repülő műszaki tiszti kompetenciák ilyen mélységű és terjedelmű kutatására eddig még nem került sor.

A tanulmány további részében a repülő műszaki tisztek kompetenciái kvalitatív vizsgálatának metaelméleti kérdései mellett az eddig elvégzett kutatás folyamata, és eredményei kerülnek bemutatásra.

A KUTATÁSI FELADAT METAELMÉLETI¹ MEGKÖZELÍTÉSE

A probléma meghatározása

A valóság problémái rendszerint valamilyen jelenség formájában jelentkeznek, amely jelenség lényegesen eltér az általunk megszokottól, vagy valamilyen egyensúlyi állapottól. Sok esetben az egyensúly nem is detektálható, és az egyensúly feltételei csak az egyensúlytalansági állapot elemzésekor relevánsak. Jó példa erre a makroökonómiából jól ismert infláció, valamint a munkanélküliség problémaköre. Egyik jelenség sem detektálható a pénzpiac, és a munkapiac egyensúlya esetén, viszont mindkét jelenség megoldásához fontos az egyensúly feltételeinek ismerete, és elemzése [4].

A repülő műszaki tisztek kapcsán megjelenő jelenség első közelítésben a felhasználó szervezetek felől formális és informális csatornákon érkező értékelések, jelzések formájában jelentkezett. Eszerint a repülő csapatok műszaki üzembentartó szervezeteknél tevékenykedő, az alapképzésből újonnan kikerült tisztek szakmai felkészültsége nem felel meg az elvárásoknak. A hiányos tudásból adódóan a munkaköri feladataik önálló, felelős ellátásához szükséges felkészülési idő jelentősen megnövekedett, ami az üzembentartó szervezetek működésének hatékonyságát csökkenti. Ez konkrétan a sikeres típusvizsgára való felkészülés, valamint a szakszolgálati engedély megszerzésének időtartamát jelenti. Fontos kiemelni, hogy a tudást itt a lehető legáltalánosabban értelmezzük, vagyis a tudás nem csupán „tudni mit”, hanem a „tudni hogyan” tartalmi elemeit is magában foglalja.

¹ Metaelmélet: A fogalmat itt a tudományos elveket és elméleteket meghaladó, azokon felüli elvek értelmében használjuk, nem felejtve annak sokkal mélyebb és szerteágazóbb tartalmát. (Lásd: [24])

Az említett jelenség problémaként való megfogalmazásakor két alapvető csapdát kell elkerülni. Ezek:

- ha a jelenség kapcsán megfogalmazott problémát túlzottan messziről nagy léptékből tekintjük, a megoldáshoz vezető út túlságosan hosszú lesz, és a felhasználható módszerek széles köre is növeli a helyes megoldás megtalálását;
- amennyiben túlzottan közlel, túl alacsony szinten fogalmazzuk meg a problémát, könnyen elkerülhetjük a helyes megoldást.

A csapdák jobb megvilágítása érdekében R. M. Pirsig művében ismertetett példát említem [17]. A tapasztalt jelenség, amit problémaként elemezni, majd megoldani kell, hogy nem indul a motorkerékpár. Ha a problémát úgy fogalmazzuk meg, hogy a sikertelen indítás a gyújtórendszer problémájából adódik, akkor kevés vizsgálattal, és ellenőrzéssel megtalálhatjuk a baj forrását. Ezzel a megfogalmazással azonban kizárjuk annak esélyét, hogy az üresen kongó benzintankra, mint valós hiba okra rátaláljunk, és ennek következtében a probléma megoldását megtaláljuk. A probléma egy másik lehetséges megfogalmazása szólhat úgy is, a motorkerékpár nem indítható, ezzel azt jelezve, hogy a baj oka a kedvezőtlen üzemeltetési körülmények, vagy esetleg valamilyen tervezési elégtelenség is lehet. Gondolom érezhető, hogy ez esetben megtaláljuk a hiba forrását, ami csupán az üzemanyag hiánya, viszont odáig kacskaringós és hosszadalmas út vezet, főleg, ha mindehhez a tudományos igényű módszerességgel látunk hozzá.

A repülő műszaki gyakorlatból vett konkrét példa talán még inkább megvilágítja a vizsgálni kívánt probléma helyes kijelölésének szükségességét. A tapasztalt hibajelenség egy MiG-21 típusú repülőgép gázkiáramlás sebesség fokozójával (GSF) kapcsolatban jelentkezett, mely szerint az ún. szabályozott szakaszban nem működött megfelelően. A szakemberek a problémát a szabályozó elektronikus rendszer nem megfelelő működésében látták, és a hiba okának detektálását is ennek megfelelően kezdték meg. Hosszadalmas és eredménytelen bár módszeres hibafeltárás után kiderült, hogy a szabályzó elektronika megfelelően működik. A GSF rendszer működésének egy más, magasabb rendszerszintű vizsgálata során kiderült, hogy a hibajelenséget egy hidraulikus berendezés meghibásodása okozta, s annak cseréje megszüntette a hibajelenséget.

Az alaptémához visszatérve a repülő műszaki tisztek tudásával kapcsolatos probléma helyes megfogalmazását megítélésünk szerint a bevezetőben már említett módon célszerű megtenni. Ennek megfelelően a tudományos igényű kutatás központjában annak az egyensúlynak, illetve összhangnak a vizsgálata áll, amely a repülő műszaki tisztképzés kimenetén a végzetek tudásának minőségében, és az alkalmazó, felhasználó szervezetek bemenetén meghatározott elvárások formájában jelentkezik.

A vizsgálati rendszerszint kijelölése

A katonai légi járművek üzemeltetése komplex rendszerben valósul meg. A rendszer magában foglalja:

- az üzemeltetett technikai eszközöket vagy eszközöket;
- a repülő technika kiszolgálását, ellenőrzését, karbantartását, javítását szolgáló berendezéseket;
- az üzemeltetést végző (műszaki) szakembereket;
- a kezelőszemélyzetet (a légi üzemeltetés szakembereit);

- az üzemeltetést irányító szervezetet (amely az üzemeltetési folyamatban tevékenykedő szakemberek közötti munkamegosztást képezi le) [18].

Az üzemeltetési rendszer központi eleme az egyes ember, mely feladatának végzése során állandó és folyamatos interakciót folytat a szűkebb értelemben vett környezeti rendszerelemekkel. Ehhez tartoznak a vele kapcsolatban lévő, a szervezethez tartozó más emberek, a repülőtechnika, az üzemeltetési eljárások, és a munkakörnyezet elemei. Az említett kapcsolatok törvényszerűségeinek vizsgálata egyrészt túlnyúlik a kutatási feladat által megszabott területen, másrészt más és más rendszerszinteken is történhet. Az általános rendszerelméletből ismert boulding-i rendszerfelosztásnak [10] megfelelően kijelenthetjük, hogy a kutatás szükségszerűen az egyes „ember” rendszerszintjén kell, megvalósuljon. Az „ember csoport” szinten az üzembentartó szervezet hatékony működési feltételeit kellene vizsgálni, mint például a szervezeti kultúra, a hatékony szervezet kialakításának problematikája, vagy más menedzsment tudományokat érintő kérdéseket. Figyelembe kell azonban venni, hogy egy tudományos problémát egyidejűleg több rendszerszinten vizsgálni nem lehetséges. Tehát rögzíteni kell, hogy a repülő műszaki tisztek kompetenciáinak vizsgálatát az egyes ember, mint önálló entitás szintjén vizsgáljuk, kutatjuk.

Multidiszciplináris megközelítés, modellek, módszerek

A kvalitatív kutatás tehát kompetenciák meghatározására irányul, melyek megteremtik az egyensúlyt a képzés, és alkalmazás rendszerei között. A következő fontos kérdés annak eldöntése, hogy mely diszciplína keretei között folyhat a kutatás. Ezzel kijelölve azt a paradigmát, és kategória rendszert, mely a kutatás során szerzett adatokból levonható következtetések kereteit adja. Különösen megfontolást érdemlő kérdés ez a kompetenciák vonatkozásában, hiszen ezt a kategóriát vizsgálja a pedagógia, a pszichológia, a modern neveléstudomány, a marketingkutatás, és nem utolsósorban a humán erőforrás menedzsment (HRM) tudománya is. Az egyes diszciplínák, bár kutatásuk központjában az egyes emberrel kapcsolatos problémák állnak, eltérő alap jelenségeket vizsgálnak, és a problémafelvetésből adódóan különböző paradigmák (ez lehet akár több is) szolgálnak alapul a tudomány fejlődése során elért eredmények, és törvényszerűségek meghatározására.

Különösen fontos ennek a kérdésnek az eldöntése, mivel az egyes diszciplínák különböző modelleket alkalmaznak, és ehhez igazodva kutatási módszereik is lényeges eltérést mutatnak. A társadalomtudományokban ritka a tisztán matematikai modellek alkalmazása, gyakoribb a verbális modellek megléte. A tisztán matematikai modellek alkalmazása során modell műveletként a matematika törvényeit kell alkalmaznunk, a következtetések, és bizonyítás igen szigorú szabályait figyelembe véve. A verbális modellek felhasználásakor sok esetben igen hatékonyak a puha módszerek, mint például a csoportos alkotástechnikai eljárások, melyek a széles körű alkalmazhatóság mellett, az alacsony idő és erőforrás igény előnyével is rendelkeznek.

Induktív következtetés esetén az egyes eredményekből, adatokból következtetünk az általános törvényszerűségekre. Sok esetben a probléma jellegéből adódóan nem elegendő egyetlen tudományra hagyatkozni, szükségszerű vagy célszerű több tudományterület módszereinek egyidejű felhasználása.

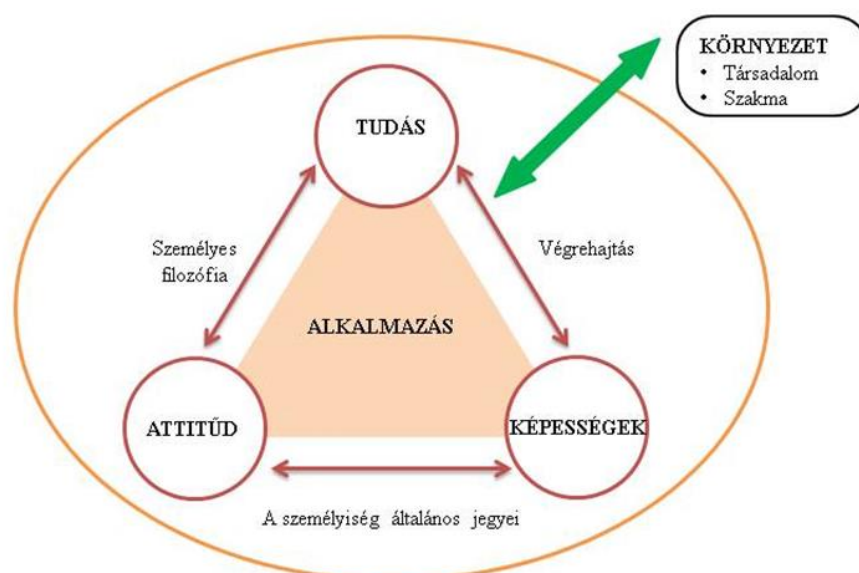
Az általunk vizsgált probléma szempontjából a multidiszciplináris megközelítés adódik, nevezetesen a kompetencia kutatás szempontjából a humán erőforrás menedzsment fogalomköréből, és modelljeiből célszerű kiindulni [6], és a marketing kutatás módszertanát alkalmazni a kutatás kvalitatív részének megvalósításához.

A KOMPETENCIÁK KVALITATÍV KUTATÁSA, EREDMÉNYEK

A kompetenciákról általában

A képzési szerkezet, az infrastruktúrák, a humán erőforrás fenntartása és folyamatos fejlesztése érdekében fontos ismerni, hogy milyen kompetenciákkal rendelkező szakemberekre (katonatisztekre, katonai repülőműszaki vezetőkre) van szükség a repülőtechnika üzemeltetéséhez és üzemben tartásához [12].

„Kérdésként merülhet fel, hogy milyen kompetenciákat *„olyan viselkedéses jellemzőkkel leírható tulajdonságokra vonatkozik, amelyek meghatározzák a teljesítményt”* [22], kell fejleszteni, illetve rendelkezni ahhoz, hogy az emberek képesek legyenek működtetni (irányítani, vezetni) rendszereket, teljesíteni feladatokat, elérni kitűzött célokat. A kompetencia, mint fogalom tartalmazza, hogy az egyén hogyan (milyen magatartással, személyiséggel, milyen képességekkel, motivációval, és milyen tudás birtokában) valósítja meg, érheti el a kitűzött célokat. A munka sikerét garantáló viselkedés és tevékenység alkotja a lényegét, de mögötte jellegzetes, az emberre jellemző tulajdonságok állnak. A kompetenciák gyakorlati használatához azokkal a viselkedésformákkal kell definiálni, amelyekből állnak, majd fejleszteni, illetve mérhetővé tenni és mérni azokat.” [4][13][14]



1. ábra A kompetencia összetevői [A Szervezetfejlesztők Magyarországi Társasága (SZMT) szakmai kompetencia modellje 1999.]

Az ábrából és a fentebb leírtakból is jól érzékelhető, hogy meglehetősen összetett, komplex fogalomról van szó. Nehezíti a vizsgálatot, hogy a kompetencia elemek jelentős része impliciten van jelen (jéghegy modellek), így azok közvetlen vizsgálata komoly nehézségekbe ütközhet.

A kvalitatív kutatás folyamata

A kutatási célok megvalósításához azonban információk széles skálája szükséges. A meglévő (másodlagos, „szekunder”) információk sok esetben nem bizonyulnak elegendőnek az értékeléshez, ezért szükség lehet arra, hogy megkérdezéssel, megfigyeléssel, vagy kísérletekkel bővítsük a rendelkezésre álló adatok körét (*primary research, field research*) [12][15].

A primer kutatás szükségessége tehát részben a részleges adat- és információhiányból adódhat, részben abból, hogy a szükséges adatok ugyan léteznek, de elavultak, vagy pedig nem állnak rendelkezésre. Feltételezhetően a repülőműszaki (mérnök) képzés kutatásában fontos piaci adatok keletkezhetnek például más mérnökképző intézmények hasonló kutatási tevékenységei során is, ugyanakkor ezeket nem valószínű, hogy széles körben hozzáférhetővé tennék. Ezen kívül a konkrét képzési portfólió és képzési forma kialakítása minden felsőoktatási intézményre egyedi, a másodlagos információk alkalmazása tehát sokszor egyfajta adaptációt, átértelmezést tesz szükségessé, amelyet primer adatok alapján ellenőrizni szükséges. Annak ellenére tehát, hogy a primer kutatás nehezebb és költségesebb, valamilyen korlátozott formában legalább elengedhetetlen lehet, ha a hipotézisalkotás szintjén túl kívánunk jutni.

„A primer kutatási eljárásokat alapvetően két csoportba sorolhatjuk, a kvalitatív és a kvantitatív kutatások módszertani kategóriáiba.” A két eljárás mind céljaikban, mind módszereikben is eltérő, de „... alkalmazásuk csak egymásra épülve, egymást kiegészítve történhet”² [7]. A kutatás során egy adott probléma megoldása a cél és nem a módszer kiválasztása. A különböző módszerek együttes alkalmazása segítheti igazolni vagy megcáfolni, illetve pontosítani a hipotéziseket és ellenőrizni a kapott végeredményt.

A kutatás folyamatát a 2. ábra szemlélteti. Az ábrán látható folyamat a szokásostól eltérően a kvalitatív kutatással, és adatgyűjtéssel indul, majd a tartomelemzéssel nyert információkat validáljuk a kvantitatív részben a kérdőíves lekérdezés módszerével. Ez azzal az előnnyel jár, hogy az ex ante analízist még látens módon sem torzíthatja a már meglévő ez irányú szabályozók tartalma.

A kvantitatív kutatások főként statisztikai összefüggéseket próbálnak feltárni, a matematikai statisztika módszereire támaszkodva egymással és a valósággal összehasonlíthatóvá teszik az adatfelvételben résztvevők válaszait. A valósággal való összehasonlíthatóság feltétele azonban az adatgyűjtési kör megfelelő lehatárolása, a metodológiailag helyes mintavételezés, amely nélkül nincs a valóságra egyértelműen alkalmazható, reprezentatív kutatási eredmény. [5][7][8][9][15][16][20]



2. ábra A kvalitatív és kvantitatív kutatás folyamatábrája [Saját szerkesztés]

² Héra Gábor-Ligeti György: Módszertan Bevezetés a társadalmi jelenségek kutatásába, Osiris Kiadó, Budapest, 2006, p. 30.

A mintavételezés

A mintavételezés során a vizsgálható tényezők sokaságából (pl. a releváns véleménnyel rendelkező emberek köréből vagy a rendelkezésre álló releváns dokumentumok halmazából) kiválasztják azokat, amelyek tulajdonságaik és jellegük alapján reprezentálni képesek az egészet. Így a sokaságra jellemző keresett információ veszteség nélkül kinyerhető. A mintavétel szükségességét a releváns forrásanyag mennyisége indokolja, de „*a mintavétel igazi problémája nem az anyag technikai redukciója, hanem az, hogy a minta az esetleg drasztikus csökkentés ellenére is reprezentatív maradjon a teljes anyag szempontjából.*” [1]³

A mintavétellel kapcsolatos első döntés, amikor definiáljuk a kutatási feladatot, kijelöljük a kutatási célt, mivel a feladat jelöli ki azt a populációt, amelyből a mintavétel történik. A minta nagyságát befolyásolják: a megválaszolandó kérdések, a válasz pontosságának foka, az adatok természete és még sok egyéb körülmény. A mintavétel során szisztematikus és véletlen hibák (tévedések)⁴ fordulhatnak elő, amelyek az elemzés végeredményére befolyással lehetnek [1].

A legtöbb kutatási projekt célja, hogy megismerjük egy kiválasztott csoport jellemzőit, tulajdonságait. A csoportra vonatkozó információk megszerzésének az a lehetősége, hogy teljes körű vizsgálatot végzünk, az anyagi és idő korlátok miatt általában lehetetlen is, szükségtelen is. A minta a megismerendő csoport vagy sokaság elemeinek egy része, amelyet azért választunk ki, hogy a kutatásunk részesei legyenek. A minta jellemzőiből fogunk a sokasági paraméterekre következtetéseket levonni. A kutatás céljainak elérését a sokaság nagysága és eloszlása miatt a teljes körű vizsgálat helyett mintákon keresztül sokkal gyorsabban és takarékosabban valósíthatjuk meg.

A mintavétel azonban maga is felvet kérdéseket. Rögzíteni kell például, milyen célcsoportok véleményét kívánjuk a mintán keresztül megismerni. A repülőműszaki (mérnöki) képzés kutatása tekintetében például a célsokaság a Magyarországon élő repülőműszaki végzettséggel rendelkező, a repülőműszaki képzésben résztvevők csoportja is lehet, de elképzelhető, hogy ebből a körből bizonyos jellemzők hiányával vagy éppen meglétével jellemezhető alcsoportot, vagy egyéneket ki kell zárni bizonyos kutatási célok sajátosságai miatt. A minta szűkítése történhet földrajzi alapon is – a repülőműszaki képzés vizsgálata esetében például lehet, hogy elégséges a Budapest, Szolnok, Székesfehérvár, Pápa, Kecskemét városokban, illetve vonzáskörzetében dolgozó repülőműszaki végzettséggel és/vagy repülőműszaki képzéssel kapcsolatos tevékenységet folytató vezetők, oktatók, mérnökök, szakemberek megkérdezése. Természetesen a minta nagyságát a kutatók lehetőségei szűkíthetik, ugyanakkor ennek radikális következményei lehetnek a reprezentativitás, vagyis a valóságra való egyértelmű alkalmazhatóság szempontjából.

A nem-reprezentatív kutatás rendszerint néhány, gondosan kiválogatott egyénre összpontosítja figyelmét, fókuszál, és nem állítja, hogy statisztikailag érvényes, viszont gyakorlati szakemberek tapasztalatai és problémaérzékenysége révén értékes bepillantást nyújt az adott kérdéskörrel foglalkozó szakemberek hétköznapi viselkedésébe, indítékaiba, gondolkodásába. Az ilyen kutatás kvalitatív, a minőségről szóló információkat hoz felszínre, azonban valószínűleg nem reprezentatív, mi-

³ Antal László: A tartalomelemzés alapjai, Magvető Kiadó, Budapest, 1976, pp. 79-80

⁴ Antal László: A tartalomelemzés alapjai, Magvető Kiadó, Budapest, 1976, p. 86

vel kisszámú, mélységi információszerzésen alapul, feltáró jellegű. Az így megszerezhető információ megfelelő metodológia alkalmazása esetén azonban árnyalt, mély, jól strukturált szerkezetű, melynek elemzéséhez, értelmezéséhez többek között a pszichológia, szociálpszichológia, antropológia és nyelvészet nyújthat segítséget. A kapott adatok feldolgozása, elemzése a belső összefüggések keresése, ún. tartalomelemzés útján valósul meg, melynek célja, hogy minél mélyebben feltárja az emberek nézeteit és érzelmeit, gondolatait, a közöttük lévő összefüggéseket, vagyis a tettek mögötti tartalmat. Ehhez azonban igen részletes interjúkat kell készíteni a megkérdezett személyekkel. Az eredmények alapján lehetségessé válik a kutatási cél, a probléma pontosítása, a hipotézis véglegesítése. Így juthatunk el a kvantitatív kutatáshoz, a probléma elemzéséhez, magyarázásához, illetve a bizonyításhoz szükséges matematikai-statisztikai jellegű modellezéshez.

A kvalitatív kutatás előnyei között szokás említeni, hogy személyes, nyitott, dinamikus, rugalmas, vagyis lehetővé teszi, hogy az adatfelvétel közben felszínre kerülő információk alapján irányítsuk az adatfelvétel további menetét, felhasználva így akár válaszadók kreativitását is. Ennek következményeképp a kvalitatív kutatás általában mélyrehatóbb megértést tesz lehetővé. Az így összeállított adatbázis az egyénre vonatkoztatva szélesebb és mélyebb lehet, hiszen a kutató professzionalitása megteremtheti az alaposabb, őszintébb, és gyorsabb válaszadás lehetőségét. Az alany személyisége, tudása, megnyilvánulásai kiindulási pontul szolgálhatnak a kutatás további folytatásához, pl. a szükséges új kompetenciák azonosításához, vagy a képzési és kimeneti követelmények meghatározásához.

Kvalitatív kutatást általában vagy mélyinterjúk készítésével, vagy ún. fókuszcsoportok alkalmazásával lehet készíteni. Az egyedi mélyinterjúk egy-egy szakértő, szakember, vagy más releváns személy motivációit, érzelmeit, elképzeléseit vizsgálja. A kutató személyes figyelmet szentelhet az információforrásnak, könnyebben biztosíthatja az adatszolgáltató őszinteségét. Az ilyen kutatás természetesen fajlagosan a legköltségesebb.

A fókuszcsoport-módszer lényege 8–12 fő vélemény- és attitűdvizsgálata. A körülményeket a kutató céljai és lehetőségei szerint befolyásolhatja, az információgyűjtés tehát a strukturáltság és kötetlen beszélgetés szélsőségei közötti átmenetek széles skáláján mozoghat. Az egyéni megkérdezéshez képest több információ gyűjthető be így, viszonylag gyorsabban és olcsóbban, ugyanakkor a fókuszcsoport összetétele, a kontrollálatlan, megismeretlenül maradó egyéni tényezők stb. miatt az így szerzett adatok torzíthatnak.

A kvalitatív kutatás, mivel kis mintával dolgozik, nem feltétlenül reprezentatív. Az adatgyűjtésre viszont többféle eljárás áll rendelkezésre, melyek együttes alkalmazása lehetőséget adhat az önelenőrzésre, valamint a nyert kép színesítésére. Az eredmények, megállapítások kreatív értelmezőtevékenység termékei lesznek, a szubjektivitás a minőségteremtés szerves jellemzője lehet. Az alanyok maguk is aktívan részt vehetnek ebben a kreatív folyamatban, melynek lényege leginkább az összefüggések tisztázása, a „ki, mi, miért, hogyan” jellegű kérdések megválaszolása. Ugyanakkor általában kevésbé vagy sehogy sem képes informálni a mennyiséget érintő kérdésekkel kapcsolatban. Összességében kijelenthető, hogy gyors és olcsó a kvantitatív kutatáshoz képest.

A kvantitatív kutatás lényege nagyszámú alapsokaságra igaz (vagyis releváns emberek tömegeit leíró) jellemzők azonosítása és vizsgálata, melynek alapján következtetéseket lehet levonni az alapsokaság magatartására nézve. A cél a reprezentativitás, vagyis a minta alapján a valóságra egyértelműen alkalmazható ismeretek szerzése. Eredményei számszerűek, statisztikailag

kimutathatók és elemezhetőek. Olyan megállapításokra vezet, amelyek az egész vizsgálati célcsoportot illetően általánosíthatók. Az adatok feldolgozása statisztikai és matematikai módszerekkel történik, tudományos háttere a matematika, statisztika, demográfia, szociometria, pszichometria. Az eredmények főleg a döntési alternatívák, javaslatok felállítására, statisztikailag verifikálható mennyiségi tendenciák azonosítására alkalmas adatok, információk.

A kvantitatív kutatás előnyei közé tartozik a számszerűség és mérhetőség. Az adatforrások kiválasztása történhet mintavétel alapján. A felmérés ezért a jövőben is megismételhető, így hosszabb távon elemezhető adatsorokat nyerhetünk. Mivel egyéni válaszok összesítésével készül, kevésbé függenek az eredmények a kutatást végző személyek készségeitől vagy szemléletétől [1][8][12].

Az interjúk

Az interjúk felvételére 2015. november, december hónapokban került sor Szolnok, Budapest, Kecskemét, Székesfehérvár, Pápa, Veszprém helyszíneken.

Az első megkeresések alkalmával a felkérések előtt tájékoztatni kellett a kiválasztott interjúalanyokat, hogy milyen kutatáshoz kérjük a segítségüket. Ismertetni kellett velük a kutatás célkitűzését, az ő szerepüket a kutatásban, és az interjú tervezett felépítését, tárgyát és várható időtartamát. Tájékoztatást adtunk arról is, hogy videofelvétel készül a beszélgetésekről, szükséges volt elmagyarázni, hogy ez miért szükséges, továbbá, hogy hogyan lesznek a felvételek felhasználva. Ezek után a hozzájárulásukat kértük a kép- és hanganyag elkészítéséhez.

Az előzetesen egyeztetett időpontban és helyszínen megjelenő interjúalanyok ismételt röviden vázoltuk az interjú felépítését, meghatározva annak várható időtartamát is. A válaszolókkal igyekeztünk megértetni, hogy nincs semmilyen elvárás válaszaikkal szemben, az általa kifejtett vélemények, gondolatok tekintetében teljes szabadsága van. Az interjúban alkalmazott nyitott kérdések lehetővé tették a válaszolóknak, hogy szavakba öntsék gondolataikat, megfogalmazhassák érzéseiket saját kifejezéseikkel, a rájuk jellemző szóhasználattal [4][8][9][12][20].

Az alábbi táblázat a felvett interjúk forgatókönyvét mutatja be.

Forgatókönyv	
Strukturálatlan interjú	Vezérfonal
repülő műszaki szakemberek	Az interjú alanyok kiválasztása
Az interjú alanyokkal egyeztetett helyszínen és időpontban, hozzájárulás kérése a videó felvétel készítéséhez.	Interjú levezetése
Interjú vázlat	
Az interjú levezetője bemutatkozik, biztosítja a megkérdezettet a törvényi előírások maradéktalan betartásáról, a vélemény szabadságot biztosítja, elmondja az interjú célját: 1. A kutatásban a repülő műszaki szakemberek (tisztok) kompetenciáit kívánjuk meghatározni. Megítélése szerint ki a jó repülő műszaki? Milyen tulajdonságokkal és tudással kell rendelkeznie ahhoz, hogy ezen a pályán sikeres legyen?	Bemutatkozás, az interjú témájának ismertetése
Kötetlen beszélgetés	A téma kapcsán beszéljen szakmai életútjáról.
Köszönetnyilvánítás	Befejezés

1. táblázat Az interjúk forgatókönyve

A tartalomelemzés

Az interjúk elemzése során olyan kérdésekre keressük a választ, mint például hogy ki, mit, hogyan és hányszor mond, vagy mire és miért van szükség, hogyan lenne jó, hogy kellene valamit csinálni, elvégezni, vagy, hogy mi a jó megoldása valamely helyzetnek.

Az eredményesség mérésének egy módszere lehet a szöveg elemzése, amelynek során a beszélgetés vagy beszélgetések, előírások, stb. tartalmi tulajdonságai alapján próbálunk válaszokat találni az előre megfogalmazott kérdésekre, bizonyosságot szeretnénk szerezni feltevéseinkre, vagy akár új kérdések és felvetések fogalmazódhatnak meg. Az elemzés célja a kapott információ tartalmának leírása, vagyis:

- „a) következtetéseket vonjon le a szöveg sajátosságairól;
- b) az üzenet okairól vagy előzményeiről; és
- c) a kommunikáció hatásairól.” [1][12][15]

A tartalomelemzés interdiszciplináris módszer, amely segítségével a dokumentumokból (közleményekből) olyan információk ismerhetők meg, amelyek „első olvasásra” nem derülnek ki (pl.: üzenetek hatásaival kapcsolatos következtetések, mire irányul a figyelem, milyen tendenciák érvényesülnek, attitűdváltozásokra, kialakítandó kompetenciákra van szükség stb.), sőt az üzenet egyes mélyebb, rejtett vonatkozásai is feltárhatók. Mindez olyan beavatkozás-mentes típusú empirikus kutatási technika alkalmazását követeli meg, amely segítségével a kutató az adatok összefüggésrendszerére levonható érvényes, megismételhető következtetéseket fogalmazhat meg. „*Tartalomelemzésnek nevezünk minden olyan eljárást, amelynek során közlemények, üzenetek törvényszerűen visszatérő sajátosságai alapján módszeres és objektív eljárással olyan következtetéseket vonunk le, amelyek a közleményekben nyíltan kimondva nincsenek, de az üzenet megszerkesztettségének, azaz a kódolásnak a módjából kiolvashatók, s esetleg más eszközökkel, más módon (nem tartalomelemzéssel) nyert adatok segítségével megerősíthetők, igazolhatók.*” [1][12][15]

A tartalomelemzés a létrehozott, kiválasztott adatbázis ciklikusan visszatérő jellegzetességei (pl. használt szavak, szimbólumok stb.) alapján, számszerű eredményekből levonható következtetésekre (pl. gyakoriságon túli kapcsolatok, normáknak való megfeleltetés) ad lehetőséget, vagyis egyszerre mennyiségi és minőségi analízis. A rendelkezésre álló információk feldolgozásakor kódolunk, kategorizálunk. A kódolás során a rendelkezésre álló adatbázist módszeresen egységekre bontva, a tartalom vizsgálat szempontjából lényeges tulajdonságainak kvantitatív leírását végezzük el. A kódolási előírások teremtik meg az összefüggést az adatbázis és a hipotézis között.

A kódolás a dokumentumok feldolgozásának egyszerűsítése érdekében készül, és minden esetben több alternatív lehetőség van, ami nem jelenti azt, hogy minden lehetséges kódolással azonos eredményt kapunk. A kategóriák, egységek kiválasztása alapvetően befolyásolhatja a levont következtetéseket és a kapott eredményt is. „*A kategóriák kiválasztása minden tartalomelemzési eljárás lényege, mert voltaképpen minden tartalomelemzés a közlemények (bizonyos) szimbólumainak a kategorizálásából meg a kategóriák összesítéséből áll.*” A kategória-szótár elkészítése azáltal segíti a feldolgozást, hogy az élő nyelvben alkalmazott rokon értelmű szavak és kifejezések összetartozását egyértelműsíti.

A felvett interjúk alapján az elvégzett tartalomelemzés eredményeként a következő kompetenciákat azonosítottuk. Az alábbi táblázatban szereplő jellemzőket a tudás két komponense, (a „Tudni mit?” és a „Tudni hogyan?”), képességek, készségek, valamint az elvárt magatartás kategóriái szerinti csoportosításban mutatja be.

Tóth József: A repülő műszaki tiszti kompetenciák kvalitatív vizsgálata

Ismeretek (Tudni mit?)	Tudás (Tudni hogyan?)	Képességek, készségek	Magatartásformák, hozzáállás
szakmai alapismeretek	technológiai tudás	műszaki érzék	folyamatos képzésre való igény
átfogó rendszerismeret	hibaelemzés	szervezőkészség	rendszeretet
részletes, alkatrész szintű rendszerismeret	ellenőrzés	fizikai állóképesség	szakmai elhivatottság
a rendszer működés átfogó ismerete	dokumentációval kapcsolatos tudás	önálló munkavégzésre való képesség	szakmai fegyelmezetttség
idegen nyelvű kommunikáció írásban	hatékony munkaszervezés	műszaki intelligencia	felelősségvállalás
idegen nyelvű kommunikáció szóban	folyamatok tervezése	rendszerelés képessége	szakmai érdeklődés
munkaszervezési ismeretek stb.	hibaelemzés	kreativitás	következetesség
<i>összesen 13 tulajdonság</i>	<i>összesen 12 tulajdonság</i>	<i>összesen 12 tulajdonság</i>	<i>összesen 19 tulajdonság</i>

ÖSSZEGZÉS

A megfelelő tervezési-előrejelzési és aktuális megrendelői, felhasználói tendenciákat elemző vizsgálatok segítségével olyan információk nyerhetők, amelyek hozzájárulhatnak az oktatási és képzési portfólió, valamint a repülő műszaki szakokon végzett diplomások kibocsátása és a munkaerő-piaci kereslet összehangolásához, a képzés és alkalmazás egyensúlyi követelményeinek meghatározásához [12].

„A tudás (a tacit tudást is beleértve), a tapasztalatra és gyakorlottságra építkezve, erősen kötődik ahhoz a közösséghez, egyénhez, amely létrehozta, így a szervezetfejlesztési tevékenységünk (legyen az oktatási, vagy közszolgálati, vagy akár termelési) során rájuk javasolt koncentrálni, mert ők biztosíthatják a megfelelő alapot az új létrehozásához, a megrendelői elvárások és a környezeti követelmények teljesítéséhez” [13].

„A több tíz év alatt megszerzett tapasztalat a néhány félév alatt az iskolapadban szerzett, általában inkább alapozó jellegű ismeretekkel nem helyettesíthető. Valódi szakemberré a szükséges alaptudás megszerzése után a gyakorlat tesz, vagyis a képzések jórészt az elméleti háttérrel kapcsolatosakat biztosítani, amely szükséges ugyan, de nem elégséges az eredményes teljesítéshez” [13].

Egy rendszer hatékonyságát növelhetjük, ha az azt felügyelő és működtető állománnyal megismertettük az általuk üzemeltetett alrendszer működésén túl a teljes rendszer működését. Az így átadott ismeretek segítenek abban, hogy megértsék, hogyan használják úgy az eszközeiket, hogy a teljes rendszer hatékonyabban működjön. Ha mindezt a menedzsment szempontból vizsgáljuk, egy rendszer hatékonyabban működik, ha a rendszert üzemeltető, és üzemben tartó szakemberek magasan képzettek és átfogó ismeretekkel rendelkeznek a teljes rendszerről [21].

Az eddig elvégzett kutatás megerősítette azokat a hipotéziseinket, meggyőződésünket, melyeket fentebb ismertettünk.

A teljes kutatási folyamat befejezése, és feldolgozás utáni értékelése megfelelő alapot biztosít egy a jövőbenis, tartósan hatékony képzési rendszer kidolgozásához.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ANTAL LÁSZLÓ: A tartalomelemzés alapjai, Magvető Kiadó, Budapest, 1976, p.152. ISBN 963 270 403 7;
- [2] BÉKÉSI BERTOLD: A katonai repülőgépek üzemeltetésének, a kiszolgálás korszerűsítésének kérdései. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Phd értekezés, Budapest, 2006.
- [3] BÉKÉSI BERTOLD, PAPP ISTVÁN, SZEGEDI PÉTER: UAV-k légi és földi üzemeltetése, ECONOMICA (SZOLNOK), 2013/2 pp. 99-117.
- [4] Dr. BELÉNYESI EMESE: Változásmenedzsment a közigazgatásban, Nemzeti Közszerológiai Egyetem, Budapest, 2014. ISBN 978-615-5491-09-2
- [5] GYENGE BALÁZS: Marketingkutatás, jegyzet, Szent István Egyetem Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar Marketing Intézet, Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 2009.
- [6] GYÖKÉR IRÉN: Humán erőforrás-menedzsment, Műszaki Könyvkiadó, 2001. ISBN: 9631630420
- [7] HÉRA GÁBOR, LIGETI GYÖRGY: Módszertan Bevezetés a társadalmi jelenségek kutatásába, Osiris Kiadó, Budapest, 2006, p. 371., ISBN 963 389 788 2, ISSN 1218–9855;
- [8] HORVÁTH DÓRA, MITEV ARIEL: Alternatív kvalitatív kutatási kézikönyv, Alinea Kiadó, 2015.
- [9] JENNIFER MANSON: A kvalitatív kutatás, Józsvöveg Műhely Kiadó, 2005. ISBN 963 7052 07
- [10] KAVAS LÁSZLÓ, ÓVÁRI GYULA: A katonai repülőgépek korszerű üzemeltetési eljárásainak elvi alapjai és gyakorlati hozadéka, Repüléstudományi Közlemények, XXV. évfolyam, Szolnok, 2013/1. pp. 198-209
- [11] KENNETH E. BOULDING: General Systems Theory—The Skeleton of Science, Institute for Operations Research and the Management Sciences, 1956.
- [12] KORONVÁRY PÉTER, SZEGEDI PÉTER, TÓTH JÓZSEF: Kutatás és képzés – módszertani felvetések az elvárások és a képzési portfólió összehangolására a repülőműszaki képzésben, Hadmérnök X. évfolyam 4. szám (2015. december) pp. 237-246 (online) url: http://www.hadmernok.hu/154_22_koronvaryl_p_szp_tj.pdf (2016.02.21)
- [13] KORONVÁRY PÉTER, SZEGEDI PÉTER: Tudásalkalmazás és tudásgondozás, Hadmérnök X. évfolyam 4. szám (2015. december) pp. 217-226. (online) url: http://www.hadmernok.hu/154_20_koronvaryl_p_szp.pdf (2016.02.21)
- [14] KORONVÁRY PÉTER, SZEGEDI PÉTER: Thoughts on understanding our organizations, Hadmérnök X. évfolyam 4. szám (2015. december) p. 227-236. (online) url: http://www.hadmernok.hu/154_21_koronvaryl_p_szp.pdf (2016.02.21)
- [15] LANGER KATALIN: Kvalitatív kutatási technikák, Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 2009.;
- [16] PHILIP KOTLER: Marketing management, elemzés, tervezés végrehajtás és ellenőrzés, Műszaki Könyvkiadó Budapest, 4., változatlan kiadás, 1991, ISBN 963 10 8626 7 (első kiadás), ISBN 963 16 0084;
- [17] ROBERT M PIRSIG: A zen meg a motorkerékpár-ápolás művészete, Európa, Budapest, 2007. ISBN: 9789630781190
- [18] ROHÁCS JÓZSEF, SIMON ISTVÁN: Repülőgépek és helikopterek üzemeltetési zsebkönyve, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989.
- [19] SPENCER, SPENCER: Competence at work. Models for Superior Performance, John Wiley&Sons, Inc. 1993. pp. 9-11.
- [20] STEINAR KVALE: Az interjú, Bevezetés a kvalitatív kutatás interjútechnikáiba, Józsvöveg Műhely Kiadó, 2005. ISBN 963 7052 08 9
- [21] SZEGEDI PÉTER, BÉKÉSI BERTOLD, KORONVÁRY PÉTER: Terrorism and Airport Security Some Technological Possibilities to Reduce Exposure, Deterioration, Dependability, Diagnostics International conference, University of Defence, Brno, 2015. pp. 279-288., ISBN:978-80-7231-431-7
- [22] SZEGEDI PÉTER: „ötlet! ... roham!” egy „csináld és tanítsd” folyamat elindításához, a katonai felsővezető képzés lehetséges fejlesztési iránya, Hadmérnök, IX. Évfolyam 2. szám - 2014. június 400-408
- [23] VARGA CSABA: A metaelmélet hipotézise, (online) url: http://vargacsaba.hu/wpcontent/uploads/2014/12/Varga_Csaba_A_metaelmélet_hipotezise.pdf (2015.11.21.)
- [24] WENDY GORDON–ROY LANGMAID: Kvalitatív piackutatás Gyakorlati kézikönyv, HVG Kiadói Rt., 1997. ISBN 963 7525 12 2

A QUALITATIVE ANALYSIS OF AIRCRAFT MAINTENANCE OFFICER'S COMPETENCES

The changes in higher education in the last decades have significant effect on the higher education establishments of defense sector, including the aviation technical officer's training. The competences as education outcomes have appeared as major requirements, which made it necessary to transform the methodology and content elements of officer's training. Besides the existed old aircraft new aviation technology has been introduced in the Air Force of Hungarian Defense Forces, which has caused partly the reevaluation of the skill and experiences of professionals working in aviation maintenance and on the other hand required new approach and the necessity of the acquisition of new skill elements. In accordance with it the examination of balance and harmony between the output of aviation technical officer's training and the required input competencies of user organizations has become central question of scientific research. In this paper besides the metatheoretical questions of qualitative analyses of aircraft maintenance officer's competencies, the process of the research done so far and its results are presented.

Keywords: *aircraft maintenance officer, competency, met theory, qualitative research*

TÓTH József
alezredes, főiskolai docens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék
toth.jozsef@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0001-8647-3404

TÓTH József
Lieutenant Colonel, Associate Professor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
Department of Aircraft And Engine
toth.jozsef@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0001-8647-3404



<http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2016.pdf>

Rozovicsné Fehér Krisztina

ALTERNATÍV ÜZEMANYAGOKHOZ, MEGHAJTÁSOKHOZ KAPCSOLÓDÓ FEJLESZTÉSEK A 2015-ÖS ÉVBEN

A közlekedés minden területe, - ezen belül is kiemelten a légitözlekedés- folyamatosan, dinamikusan fejlődik, és az utazók egyre nagyobb százalékban választanak az utazásuk eszközüül valamilyen légitjárművet. Sajnálatos módon e fejlődéssel együtt növekszik az üvegházhatású gázok mennyisége is a légkörben. Napjaink egyik fő törekvése minden társadalomban megóvni a környezetet, csökkenteni a különböző károsanyagok környezetbe kibocsátását. Erőfeszítésekkel találkozhatunk az alternatív üzemanyagok fejlesztése, és alkalmazása területén, valamint a járművek környezetkímélőbb meghajtása, üzemeltetése területén Európától Észak-Amerikáig. Napvilágot láttak már ígéretes kezdeményezések, kiforrott technológiák, de természetesen olyanok is, amelyek zsákutcába vezettek. A 2015-ös évre leginkább az volt jellemző, hogy a kutatók, fejlesztők próbálták komplex lépéseket kidolgozni a károsanyagok levegőben és a talajban való felhalmozódásának csökkentésére. Ilyen például az a kezdeményezés, amely városi hulladékból készít hajtóanyagot légitjárművek részére, vagy a légkörből kivont szén-dioxidból tüzelőanyagot állít elő, így csillapítva a repülőgépek energiaéhségét, és csökkentve a károsanyagok jelenlétét. Mind-ezek mellett figyelemre méltóak azokat az újításokat is, amelyek az alternatív meghajtások területéről származnak, mint például a napenergia hasznosítása vagy a hibrid rendszerek.

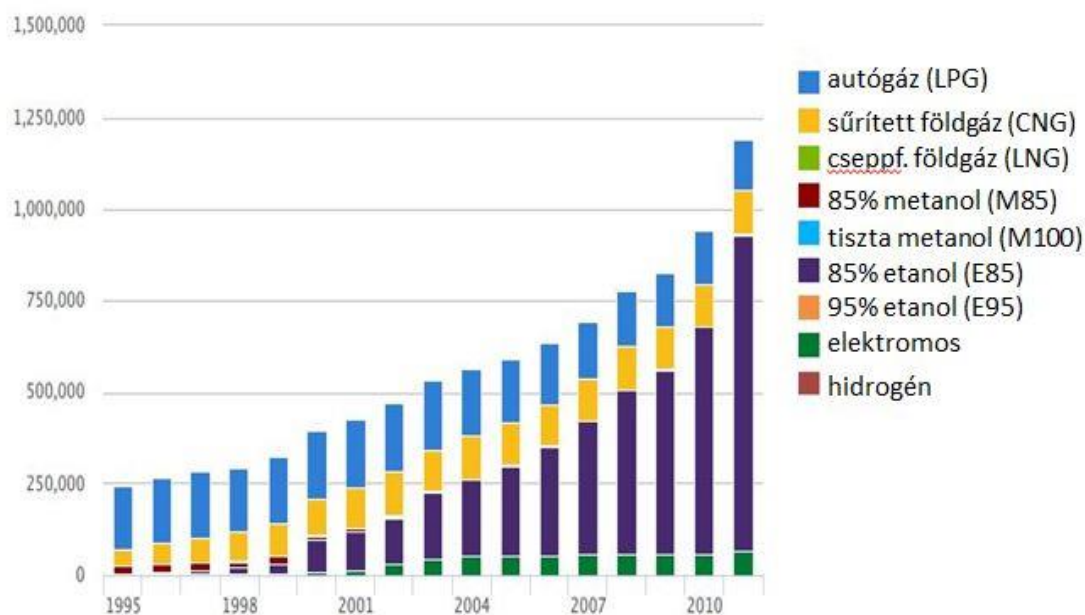
Kulcsszavak: napenergia, hibrid meghajtás, elektromos repülőgép, hulladék, szén-dioxid

A fosszilis tüzelőanyagok kiváltására, az alternatív üzemanyagok fejlesztésére, repülésbe történő bevonására törekedni szükséges egyfelől a hagyományos üzemanyag alapanyagának mennyiségi csökkenése, másfelől pedig a károsanyag kibocsátás mérséklése, a természetvédelem előtérbe kerülése miatt. Jó hír, hogy folyamatos az alternatív hajtóanyagok térnyerése a közlekedés területén, amelyet az 1. ábra is jól szemléltet. Igaz, az adatok az Amerikai Egyesült Államokra vonatkoznak, de bízhatunk abban, hogy a fejlett országokban is hasonló térnyerési trend tapasztalható. A fejlesztések szakadatlanok, és egyre szélesebb területen zajlanak. 2015 ilyen szempontból mozgalmas évnél tekinthető a kutatások illetve az új lehetőségek, technológiák szempontjából.

Ebben az évben újtára indult egy olyan repülőgép, amely a Nap energiáját felhasználva közlekedik éjjel-nappal, károsanyag kibocsátás nélkül. 2016-ban követi egy hibrid meghajtású repülőgép szintén zéró emisszióval, amelyet légi taxi rendszerbe is szeretnék állítani.

A folyamatosan növekvő szén-dioxid mennyiségének csökkentésére is találtak megoldást: üzemanyagot készítenek belőle légitjárművek számára, így létrehozva az újrahasznosítás újabb lehetőségét.

Önmagában a légköri szén-dioxid mennyiségének csökkentése is igen jelentős előrelépés a környezetvédelem területén, de egy amerikai professzor és csapata nem állt meg ennél a szintnél, hanem tovább gondolva ezt a lehetőséget, üzemanyagot állítanak elő belőle. Cikkemben ezeket a fejlesztéseket szeretném bemutatni.



1. ábra Alternatív hajtóanyagú járművek mennyiségi változása az Amerikai Egyesült Államokban [1]

SOLAR IMPULSE REPÜLŐGÉP

A Solar Impulse repülőgép repüléséhez a napelemei által felfogott és elektromos árammá alakított szolár energiát használja fel. Nem az első olyan légi jármű, amely meghajtásához a nap-sugárzásból nyert energiára támaszkodik, de úttörő abból a szempontból, hogy éjjel-nappal tud repülni hagyományos üzemanyag felhasználása nélkül.

Technikai adatok

A Solar Impulse prototípusának fejlesztését 2009-ben fejezték be. 2010. április 7-én emelkedett először a levegőbe, majd rá három hónapra meghódította az éjszakai égboltot is. 2013-ban végeztek a Solar Impulse 2 megalkotásával, és következhetnek a repülések. Mindkét repülőgépet Svájcban készítették el, és két pilóta irányította/ja felváltva: Bertrand Piccard, André Borschberg.

A Solar Impulse 2 (2. ábra) sárkányának és borításának fő szerkezeti anyaga szénszál erősítésű kompozit, a szárnya pedig méhsejt töltőanyagú szendvics kialakítású. 71,9 m-es szárnyfesztávolsága túltesz egy Boeing-747-es repülőgépén, de szerkezeti tömege mindössze 2300 kg. A 17248 darab (269,5 m² felületen), 135 mikron vastagságú monokristályos napelem, melyek rugalmas fóliával vannak bevonva, a törzsön, a szárnyon illetve a vezérsíkokon helyezkedik el.

A napenergiát napelemek segítségével alakítják át elektromos energiává. Fizikai mérete meghatározó eleme a rendszer teljesítményének, a rákapcsolt fogyasztók energiaszükségletét csak a megvilágítás idején képes biztosítani, így különböző típusú akkumulátorok beépítésére van szükség, hogy biztosítva legyen az éjszakai repüléshez a megfelelő energia mennyiség. A napelemek (fotoelektromos generátorok, félvezetőkből álló áramforrások, amelyek a nap elektromágneses sugárzásának energiáját elektromos energiává alakítják) hatásfokuk, és az adott méretű napelemből kivehető maximális energia fontos tervezési szempont.



2. ábra Solar Impulse 2 Abu Dhabi felett. [2]

A napelem optimális teljesítményű üzemének biztosítása alapvető követelmény. A napelem karakterisztika maximális pontjának helyzete a napelem hőmérsékletének, a besugárzás szögének, intenzitásának függvénye. A napelem áram- feszültség karakterisztikáján található maximális teljesítményű pont (MPP – Maximum Power Point) követésére szabályzó rendszerre van szükség. A költségek optimalizálása érdekében a fejlesztések a minél kisebb, egyszerűbb és egyre jobb hatásfokú megoldások keresése felé irányulnak.

A maximális teljesítményű pont követése elengedhetetlen feltétele a maximális villamosenergia kinyerésének, elsődleges tervezési szempont a minél kisebb veszteségű és a lehető legegyszerűbb felépítésű követőáramkör használata, mint például egy polaritásváltóval megépített analóg MPPT (Maximum Power Point Tracking) [3][4][5][6].

Napelemei négy darab, egyenként 13 kW-os (17,5 LE) motort hajtanak meg közvetlenül, vagy a hőszigetelt gondolákban elhelyezett lítium-polimer akkumulátorokat töltik. A gép által elérhető maximális sebesség a tengerszinten 90 km/h, míg 8500 méteres magasságban 140 km/h.

Round The World projekt

A gyártó a Solar Impulse repülőgépekkel végrehajtott Európán belüli, interkontinentális (Európa, Észak-Afrika) illetve Észak-Amerikát átszelő repüléseket, de a tavalyi évre nagyobb célt tűzött ki maga elé.

2015. január 20-án az Egyesült Arab Emírátságokban megtartott sajtótájékoztatón elhangzott, hogy a Solar Impulse 2 repülőgéppel tervezik körberepülni a Földet (tervezett útvonal lásd: 3. ábra), amely körülbelül 35 000 km-nyi távolság megtétele lesz.

Ahhoz, hogy a fent említett projektet teljesíteni tudják, nem csak a repülőgépet, hanem a pilótákat is fel kellett készíteni erre a hosszú útra különböző tesztekkel, átalakításokkal, gyakorlásokkal:

- ➔ a pilótaülést toaletté illetve fekvőhelyé átalakítható;
- ➔ a pilóták meditációs és relaxációs technikákat sajátítottak el (robotpilóta hiánya miatt kevés időt tölthetnek alvással repülés közben);
- ➔ külön szimulátort fejlesztettek a hosszú időtartamú repülések gyakorlásához;

- ➔ a Nestlé Heath Science étrendet ajánlalnott a pilótáknak;
- ➔ Mission Control Centre létrehozása, ahonnan folyamatos segítséggel (meteorológiai, fel- és leszállási engedélyek stb.) látják el a Solar Impulse 2 legénységét.



3. ábra Solar Impulse 2 tervezett útvonala [7]

2015. március 9-én levegőbe emelkedett a HB-SIB lajstromjelű Solar Impulse 2 repülőgép, és elindult Föld körüli útjára. Az 1. számú táblázat mutatja be eddig megtett útvonal szakaszainak jellemzői paramétereit. Eddig több mint 17 000 km-et tett meg és 5644 kW-nyi napenergiát használt fel.

Felszállás időpontja	Felszállás helye	Leszállás helye	Távolság	Repülés időtartama
március 9.	Abu Dhabi (Egyesült Arab Emírátságok)	Muscat (Omán)	772 km	13 óra 1 perc
március 10.	Muscat (Omán)	Ahmedabad (India)	1593 km	15 óra 20 perc
március 18.	Ahmedabad (India)	Varanasi (India)	1170 km	13 óra 15 perc
március 19.	Varanasi (India)	Mandalay (Mianmar)	1536 km	13 óra 29 perc
március 30.	Mandalay (Mianmar)	Csunking (Kína)	1450 km	20 óra 29 perc
április 21.	Csunking (Kína)	Nanking (Kína)	1241 km	17 óra 22 perc
április 31.	Nanking (Kína)	Nagoja (Japán)	2852 km	44 óra 9 perc
június 2.	Nagoja (Japán)	Kalaeloa (Hawaii)	7212 km	117 óra 52 perc

1. táblázat A Solar Impulse 2 Föld körüli útjának eddig megtett szakaszainak jellemzői. [1]

Június 2-án a Japán és Hawaii szigetek közötti repülés (az összes eddigi szakasz közül a leghosszabb volt) első napján az akkumulátorokkal probléma merült fel, túlmelegedtek és a termelődött hő károsan befolyásolta gondolák hőszigetelésének állapotát is. Az MCC munkatársai ugyan észrevették jelzőrendszereiken, de nem tehettek semmit a hőmérséklet csökkentése érdekében. A Solar Impulse szakemberei szerint nem műszaki hiba okozta ezt a problémát, egyszerűen nem voltak kellően előrelátóak a trópusi éghajlaton történő emelkedésnél illetve ereszkedésnél termelődő hő elvezetésével kapcsolatban.

Visszafordíthatatlan károk keletkeztek az akkumulátorok egyes részeiben, amely kijavítása vagy cseréje hónapokat vesz igénybe. A Hawaii Egyetem a Közlekedési Minisztérium támogatásával otthont adott a Kalaeloa repülőtér egyik hangárjában a repülőgépnek, hogy rendbe tudják hozni, és későbbiekben folytathassa tovább az útját. Amíg a Solar Impulse 2 károsodott

berendezéseit javítják, addig a mérnöki csapat folyamatosan tanulmányozza a hosszú repülőúton használható jobb hűtési és fűtési lehetőségeket.



4. ábra Akkumulátor eltávolítása a Solar Impulse 2-ből. [9]

Az előrejelzések szerint a repülés 2016 áprilisában folytatódik tovább az Egyesült Államokba a Csendes-óceán átszelésével [10].

HY4 HIBRID MEGHAJTÁSÚ REPÜLŐGÉP

2015. október 12-én Stuttgartban a DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) bemutatta új projektjét, a HY4 repülőgépet. Ezzel szeretnék a tervezők, építetők demonstrálni az elektromos meghajtás előnyeit illetve létjogosultságát a légi személyszállításban [11].

Technikai adatok

A HY4 (5. ábra) lesz az első repülőgép a világon, amely 4 utas szállítására alkalmas zero-károsanyag kibocsátás mellett. Egy 2 részből álló hibrid rendszer található benne: PEM (Proton Exchange Membrane) üzemanyag cella és lítium akkumulátor. A nagy teljesítményű lítium akkumulátor a felelős a felszállás illetve az emelkedés energia ellátásáért, de amint elérte a repülőgép az utazó magasságot, már az üzemanyag celláját használja, amelyben hidrogén és oxigén egyesül, így állítva elő az elektromos áramot, a meghajtás biztosítása [11].

Elektromos motorjának teljesítménye 80 kW, amellyel maximálisan 200 km/h-s sebességet tud elérni, ugyanakkor utazó sebessége 145 km/h. A HY4 iker törzsét a szárny köti össze, fesztávolsága 21,36 m, hosszúsága 7,4 m. Szerkezeti tömege körülbelül 630 kg (az akkumulátorok és az üzemanyag cella nélkül), míg a maximálisan megengedett felszálló tömege 1500 kg. 90 kW összteljesítményű a két meghajtásért felelős rendszer. A repülőgép hatótávolsága 750 és 1500 km között változik az időjárás függvényében [13].



5. ábra HY4 repülőgép [12]

Története

A Taurus Electro G2 nevű kismotoros repülőgépet (első szériában gyártott elektromos kétülékes repülőgép), a Pipistrel vállalat készítette és forgalmazza a mai napig. Ez egy 14,97 m-es fesz-távolságú, 7,27 m hosszúságú, 306 kg szerkezeti tömegű légi jármű, amelynek alapanyagául kompozit (üveg és szén szálerősítésű valamint kevlár) szolgál. Felszállásához 40 kW-nyi, utazómagasságot elérve pedig 30 kW-nyi teljesítmény leadására képes a nagyteljesítményű háromfázisú szinkron motor. A Taurus Electro felülmúlja a benzines változatát, amely a Taurus nevet viseli. Rövidebb nekifutási úthossz is elegendő a felszálláshoz az elektromos változatnak, ráadásul gyorsabban is emelkedik illetve jobb a teljesítmény leadásra képes nagy magasságokban. Lítium akkumulátorok (6. ábra) találhatóak a G2-es repülőgépben, amelyeket a Pipistrel saját akkumulátor felügyelő rendszere (BMS – Battery Management System) ellenőriz és jelez, ha nem megfelelő a töltöttség vagy cserére szorulnak. A pilótát dolgának megkönnyítésére fly-by-wire vezérlő rendszert építettek be [14][15].



6. ábra Taurus repülőgép akkumulátorai [16]

A NASA és CAFE alapítvány 2011-ben megszervezte a Green Flight Challenge-t Kaliforniában, amelyre több csapat is nevezett, de a versenyre már csak négy repülőgép készült el. Ezek

közül kettő rendelkezett elektromos meghajtással (Taurus G4 és e-Genius). A versenyt végül a Pipistrel vállalat által gyártott G4 nyerte meg.

Az előzőekben bemutatott repülőgép fejlesztése, gyártása 5 hónapot vett igénybe. A G2 típusból hoztak létre a törzs megduplázásával egy iker törzsű négyüléses elektromos repülőgépet (7. ábra), melynek szárnyfeszítávolságát 21,34 m-re, törzsének hosszát közel 8 m-re növelték a megfelelő hosszstabilitás és a szükséges akkumulátorok elhelyezése miatt. Összesen 264 darab akkumulátor cella található a G4 repülőgépen három csoportban (kettő a törzsben, egy pedig a középső gondolában) elhelyezve, melyek kapacitása eléri a 90 kWh-t. Első repülésére 2011. augusztus 11-én került sor [17].



7. ábra Taurus G4 repülőgép [18]

A HY4 repülőgép szerkezetének alapja a Taurus G4-es, amelyet szintén a Pipistrel vállalat hoz létre. További résztvevők a fejlesztésben: Ulm-i Egyetem, Stuttgart-i repülőtér, Hydrogenics, Pipistrel, H2FLY vállalat illetve a NIP (German National Innovation Programme for Hydrogen and Fuel Cell Technology) [12].

A tervek szerint 2016 tavaszán fog először a levegőbe emelkedni a HY4 nulla károsanyag kibocsátású elektromos repülőgép a Stuttgart-i repülőtér betonjáról.

Légi taxi a jövő?

Az elektromos légi közlekedés egyik koordinátora is azon a véleményen van, hogy az villamos meghajtás a levegőben is alkalmazható, főként a személyszállítás területén, ezzel létrehozva egy légi taxi hálózatot, amely bevonásával a jelenlegi közlekedési eszközök és útvonalak között, rugalmasabban és gyorsabban utazhatnak az emberek. A Sky Taxi koncepció megalkotója szerint is a rövid és közepes távolságok jól áthidalhatók elektromos repülőgépekkel. A DLR is rámutatott arra, hogy jelenleg Németországban több mint 60 olyan repülőtér található, amelyek megfelelőek (infrastruktúrájuk, megközelíthetőségük) lennének ilyen utazások lebonyolításához [19].

Látható, hogy a háttér kiszolgálás már működőképes lenne a légi taxi hálózat elindításához. Remélhetőleg, a tesztrepüléseken jól fog teljesíteni a HY4 repülőgép, így vele illetve hasonló meghajtású társaival egy újabb fajta közlekedési eszközzel bővülne a helyközi személyszállítás.

E-FAN ELEKTROMOS MEGHAJTÁSÚ REPÜLŐGÉP

Az alternatív meghajtások és üzemanyagok fejlesztését nem csak a kisebb cégek, környezettudatos magánemberek kezdték el, hanem a nagyobb vállalatok is rájöttek, hogy muszáj lépést tartani a fejlődéssel. Ehhez a versenyhez csatlakozott az Airbus Group is, mikor 2014-ben először a levegőbe emelkedett az E-Fan elektromos repülőgépük.

Technikai adatok

Az Airbus E-Fan 1.0-t (8. ábra) két 60 kW összteljesítményű hajtómű mozgatja. Ezeket a motorokat 120 darab lítium-polimer akkumulátor (szárnyban található) táplálja, mely 45–60 perc repülési időt biztosít (későbbiekben lecserélték lítium-ionosra, amely nehezebb, de több energia tárolására képes). Szárnyfesztávolsága 9,5 m, hossza 6,67 m, szerkezeti tömege pedig 500 kg. A sárkányszerkezet szénszál erősítésű kompozitból készült. Futóműve hárompontos, fark kerek kialakítású, ahol a főfutó kerekét külön 6 kW-os elektromotorral hajtják meg csökkentve az energia felhasználást gurulás közben. Ezt a meghajtást a La Manche csatorna átrepülésekor eltávolították.

A fejlesztők a CO₂ kibocsátásának nullára történő redukálása mellett nagy hangsúlyt fektettek a zajszint illetve a vibráció csökkentésére is [20].



8. ábra Airbus E-Fan repülőgép [21]

2015 és a jövő

2015. július 10-én Anglia déli partján Lydd-ből szállt fel az Airbus E-Fan elektromos repülőgép, majd 37 perc repülés után 74 km-et megtéve Calaisban landolt. A teszt pilóta 1000 méteres magasságban vezette repülőgépét [20].

A tervek szerint 2016-ban el fog készülni az E-Fan 2.0 és a 4.0 is Franciaországban. A 2.0 verzió szintén elektromos meghajtású, mint elődje az 1.0, de már kétülékes repülőgép lesz, amely 2017-ben emelkedik először a levegőbe. 2015-ben iF Design díjat nyert vele tervezője, Bruno Saint-Jalmes és csapata illetve bekerült az amerikai Popular Science éves 'Best of What's New' top 100-as listájába. Az Airbus ezzel a változattal a pilóta kiképzéseket tervezi célba venni. A 4.0 géptípus (9. ábra) négyülékes verziója az E-Fan 1.0-nak, és a nemzetközi polgári légi közlekedési piacon szeretnék majd értékesíteni. 2019-re tervezik a bemutatkozását [22].



9. ábra Airbus E-Fan 4.0 repülőgép [23]

FULCRUM BIOENERGY

Az Amerikai Egyesült Államok Kalifornia államában Pleasanton városában található a Fulcrum BioEnergy vállalat. 2015-ben 30 millió dollárt fektetett közvetlenül a United Airlines (10. ábra) légitársaság a fent említett cégbe, ezzel a jövőben létesülő öt bio üzemanyag gyárat támogatva illetve megállapodást kötöttek évi 90 millió gallon (kb. 341 millió liter) bio üzemanyag előállításra, amely a United éves üzemanyag felhasználásának kb. 3%-a.



10. ábra United Airlines [24]

Ezek az új üzemek 30 és 60 millió gallon dízel hajtóanyagot, kerozint fognak megtermelni évente, a szilárd városi hulladékokból. Az első ilyen üzem megnyitása 2017-re várható, de a többiben is beindul a termelés 2022-ig. A vállalat állítása szerint nyersanyag költsége nincs, működési költsége pedig a munkaerő mennyiségétől fog függni [25].

Üzemanyag előállítás

A Fulcrum BioEnergy vállalatnak célja, hogy az általa megtermelt üzemanyagok elégetésével a légkörbe kerülő az üvegházhatású gázok mennyisége 80%-kal csökkenjen a költségek növekedése nélkül (előrejelzés szerint 1 USD-be fog kerülni 1 gallonnyi belőle). Két fajta eljárást alkalmaznak a tüzelőanyag előállítására: egy gázosítási rendszert (szintézis gáz létrehozása hulladékból), amelyet ThermoChem Recovery International-tól vásároltak meg és a Fischer-Tropsch módszert (szintézisgázból történő kerozin és gázolaj készítésére). Az alapanyag városi szilárd hulladék, angol rövidítése: MSW (municipal solid waste). Már 2014-ben tesztelték az általa előállított üzemanyagot, és azt állapította meg az ASTM (American Society for Testing and Materials), hogy megfelel a légitársaságok tüzelőanyagának, továbbá ezt erősítették meg független mérnöki, a Védelmi Minisztériumi illetve Mezőgazdasági Minisztériumi vizsgálatok is [25].

Sierra Biofuel

A Fulcrum Bioenergy ügyvezető igazgatója szerint ez egy olyan lehetőség lesz, amely fel fogja venni a versenyt a fosszilis üzemanyagokkal. Programjukhoz csatlakozott a két legnagyobb hulladékszállító cég (hosszútávon biztosítva legyen alapanyag), két nagy légitársaság (United Airlines, Cathay Pacific), az Amerikai Haditengerészet, az Amerikai Légierő illetve az Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériuma. A cég első projektjét a Sierra Biofuel üzem (11. ábra) építését az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma 70 millió USD-vel támogatta. Évente több mint 180 ezer tonna megfelelően előkészített MSW-t fog feldolgozni, amelyből körülbelül 12 millió gallon (45,5 millió liter) üzemanyagot állít elő légitársaságok részére. A termelés beindítását 2017-re tervezik [25].



11. ábra Sierra Biofuel üzem látványterve [26]

CO₂-BÓL ÜZEMANYAG

A statisztikák szerint évente 36 gigatonnányi szén-dioxid kerül a levegőbe fokozva a környezetszennyezést, és az üvegházhatást. Egy független kanadai cég, a Carbon Engineering vizsgálatai alapján bebizonyította, hogy ki lehet nyerni ezt a gázt a levegőből, és üzemanyagot lehetne készíteni belőle.

Carbon Engineering

A cég Kanadában, Calgary-ban található, főállású mérnökök, vegyészek és fizikusok alkotják a csapatát, akik David Keith professzor kutatócsoportjaiban tevékenykedtek a Calgary vagy a Carnegie Mellon Egyetemeken. K+F tevékenységükbe bekapcsolódnak a vezető mérnöki cégek illetve a korszerű berendezések beszállítói is, így együtt alkotják a tervezés és kivitelezés egymást támogató kettősét [27].

A Carbon Engineering, amely befektetői között van Bill Gates és Murray Edwards is, szeretné megépíteni a világ első Air Capture (levegő leválasztó) (12. ábra) üzemét, amely a kibocsátások atmoszferikus szén-dioxid mennyiségét 60%-kal tudja csökkenteni. Úgy gondolják, hogy ez egy értékes eszköz lesz a klímaváltozás elleni harcban. Stratégiájuk egy olyan technológia létrehozása, amely alacsony kockázatú és kezdeti beruházási költségű, kémiai elven működő levegő leválasztó [27].



12. ábra Air capture [28]

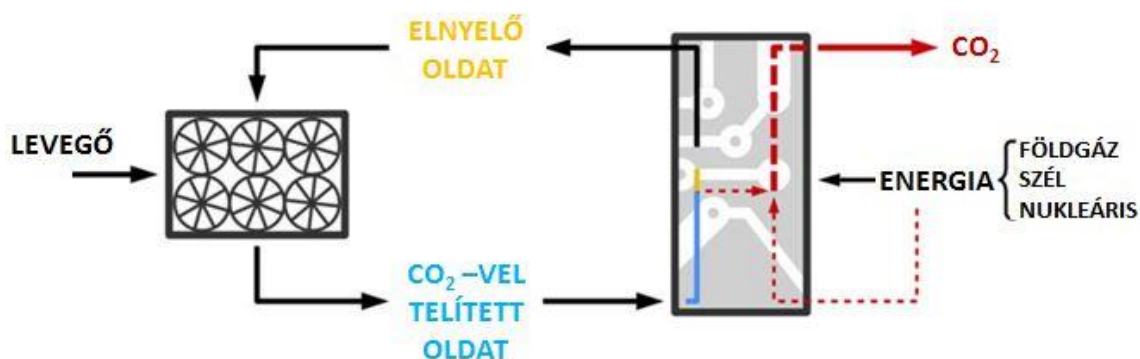
Üzemanyag előállítása

Több lehetőség is adódik arra, hogy a légkörből kivont szén-dioxidból, közvetlenül vagy közvetve üzemanyagot állítsanak elő a közlekedés számára.

A levegőből kinyert szén-dioxidot tudják hasznosítani az olajkitermelés fokozására befecskendezés útján. Ezzel a technikával miután a felszínre hozott olajat finomították, majd üzemanyagként elégették, nagyjából csak a szén mennyiségének a fele kerül vissza a körforgásba [27].

A következő lehetőség, hogy a kivont légköri CO₂-vel algákat táplálják, és növesztenek, amelyek tisztítás és feldolgozás után a bio üzemanyagoknak alapjául szolgálnak [27].

A harmadik módszer, hogy atmoszférából befogott szén-dioxidot közvetlenül folyékony szintetikus szénhidrogénné alakítják át. Ezzel olyan nagy energiasűrűségű üzemanyagot tudnak létrehozni, amelynek CO₂ kibocsátása zero [27].



13. ábra Levegő leválasztó működése [29]

2015 januárjában kezdődött meg a bemutató üzem építése Squamish-ban Brit Kolumbiában. A tervek szerint a kísérleti üzem naponta 2 tonna szén-dioxid-ot nyer ki a levegőből, de normál működtetés mellett ez az érték elérheti az évi 10 millió tonnát. Ily módon és megújuló energiákat felhasználva az üzem működésénél az előállított üzemanyag ökológiai lábnyomát 85%-kal lehetne csökkenteni [30].

KÖVETKEZTETÉS

Komplex fejlesztések kezdődtek, illetve folytatódtak a 2015-ös évben a légi közlekedéshez kapcsolódóan. Két fő irányban indultak el a kutatások: olyan légi járművek megalkotása, amelyek kevesebb károsanyagot bocsátanak ki repülés közben, illetve a már környezetbe került szennyezőanyagokból üzemanyagok előállítása.

A cikkben bemutatott repülőgépek és alkalmazott újítások biztató fejlesztéseknek tekinthetőek, amelyek mögött sok befektetett idő, energia és szaktudás lelhető fel a környezetvédelmet szolgálva. Közülük néhány (pl. a városi szemétből előállított üzemanyag) már az előállításuk kezdetétől szolgálatba állíthatóak a légi teher- és személyszállításban, míg más újítások (pl. napenergia általi meghajtás) sokrétűsége miatt azonnal nem hasznosítható széles körben.

Remélhetőleg a 2016-os évben is tovább fognak ezek a technológiák fejlődni és mellettük újabb fejlesztések jelennek meg, hogy hatékonyabban tudjuk csökkenteni a környezetszennyezés mértékét vagy akár vissza is tudjuk fordítani, így biztosítva bolygónk flórájának és faunájának fennmaradását.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Alternative Fuel Vehicles in Use. Alternative Fuels Data Center <http://www.afdc.energy.gov/data/10300> (2016. 02. 09.)
- [2] SOLAR IMPULSE: Best picture of 2015 n^o2: Above Abu Dhabi. Solar Impulse facebook lapja <https://www.facebook.com/solarimpulse/photos/pb.187539851277198.-2207520000.1453715304./1065505053480669/?type=3&theater> (2016. 01. 25.)
- [3] SZEGEDI P.: A javított hatásfokú polaritásváltóval megépített analóg MPPT. Repüléstudományi Közlemények, X 25/2 (1998), 81-101.
- [4] SZEGEDI P.: A javított hatásfokú polaritásváltóval megépített analóg MPPT áramkör analízise. Repüléstudományi Közlemények, X 25/2 (1998), 113-126.

- [5] SZEGEDI P.: A maximális teljesítményű pont követésének lehetőségei napelemes rendszerekben 1. Repüléstudományi Közlemények, IX 23/1 (1997), 91-108.
- [6] SZEGEDI P.: A maximális teljesítményű pont követésének lehetőségei napelemes rendszerekben 1. Repüléstudományi Közlemények, IX 23/1 (1997), 121-138.
- [7] Solar Impulse honlapja <http://www.solarimpulse.com/> (2015. 03. 12.)
- [8] Solar Impulse honlapja <http://www.solarimpulse.com/> (2016. 01. 22.)
- [9] Solar Impulse honlapja <http://www.solarimpulse.com/leg-8-from-Nagoya-to-Hawaii> (2016. 01. 27.)
- [10] Solar Impulse honlapja <http://www.solarimpulse.com/leg-8-from-Nagoya-to-Hawaii> (2016. 01. 27.)
- [11] Zero-emission passenger flights: DLR presents project for HY4 four-passanger fuel cell aircraft. DLR Portal, 2015. 10. 14.
- [12] http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-15429/#/gallery/20919 (2015. 11. 26)
- [13] HY4 repülőgép. DLR Portal http://www.dlr.de/tt/en/desktopdefault.aspx/tabid-10743/19267_read-44808/ (2016. 01. 29.)
- [14] HY4 – Zero-emission passenger flights. DLR Portal, 2015. 11. 26. http://www.dlr.de/tt/en/desktopdefault.aspx/tabid-10743/19267_read-44808/ (2016. 01. 29.)
- [15] Taurus Electro Technical Data. Pipistrel d.o.o. Ajdovscina honlapja <http://www.pipistrel.si/plane/taurus-electro/technical-data> (2016. 02. 01.)
- [16] Taurus Electro. Pipistrel d.o.o. Ajdovscina honlapja <http://www.pipistrel.si/plane/taurus-electro/overview> (2016. 02. 01.)
- [17] Pipistrel d.o.o. Ajdovscina honlapja <http://www.pipistrel.si/photo/6660> (2016. 02. 01.)
- [18] T. TOMASIC, V. PLEVNIK, G. VEBLE, J. TOMASIC, F. POPIT, S. KOLAR, R. KIKELJ, J. W. LANGELAAN, K. MILES: Pipistrel Taurus G4: on Creation and Evolution of the Winning Aeroplane of NASA Green Flight Challenge 2011. Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering XII 57 (2011) 869-878.
- [19] Aviation history: This year's NASA award went to the company's Taurus G4, a four-seat electric-powered aircraft, the first practical and economically viable, emission-free aircraft. The Slovenia Times <http://www.sloveniatimes.com/aviation-history> (2016. 02. 01.)
- [20] D. SIGLER: G4 to HY4 – Swapping Batteries for Fuel Cells. [blog.cafefoundation.org](http://blog.cafefoundation.org/g4-to-hy4-swapping-batteries-for-fuel-cells/), 10/19/2015 <http://blog.cafefoundation.org/g4-to-hy4-swapping-batteries-for-fuel-cells/> (2016. 01. 19.)
- [21] Airbus Group honlapja <http://www.airbusgroup.com/int/en/innovation-citizenship/airbus-e-fan-the-future-of-electric-aircraft/Cross-channel-flight.html> (2016. 02. 02.)
- [22] The E-Fan crossed the English Channel. Airbus Group honlapja <http://www.airbusgroup.com/int/en/news-media/media~item=9d0395ee-4299-4f9d-9494-4224973b4ad5~ref=984e18de-90c0-4c7b-aa78-cbc31dff025f~query=P3N0YXJ0ZGF0ZT0xLTEtMjAwMzZlbnRkYXRIPTEwLTEzLTlWMTUmdHlwZT1pbWFnZSZ0b3BpY3M9ZTQxOGVxOWEY- jUwZi00ZDFiLWJiNGYtNWFiNWFiYzZmNDFiJnRvcGljcz12XzBjOTRiM2E1LWw3ZjAtNDk2MC1hNDc2LTEyYzk0ZDA4NGZlMSZ0b3BpY3M9OTI5NTg5NGEtMWI1ZS00ZDlhLT-kxZmMtNDYxMzIxODA0NjQ3JmluZGV4PTE0~.html> (2016. 02. 02.)
- [23] Airbus Group honlapja <http://www.airbusgroup.com/int/en/innovation-citizenship/airbus-e-fan-the-future-of-electric-aircraft/Cross-channel-flight.html> (2016. 02. 03.)
- [24] Airbus Group honlapja <http://www.airbusgroup.com/int/en/innovation-citizenship/airbus-e-fan-the-future-of-electric-aircraft/e-aircraft-roadmap.html> (2016. 02. 02.)
- [25] United honlapja <http://newsroom.united.com/2015-04-14-Flying-on-United-Airlines-Eco-Skies-Plane-this-Month-Youre-flying-Carbon-Neutral> (2016. 02. 03.)
- [26] J. LANE: United Airlines invests \$30M in Fulcrum BioEnergy; inks \$1,5B+ in aviation biofuel contracts. BiofuelsDigest, June 30, 2015 <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/06/30/united-airlines-invests-30m-in-fulcrum-bioenergy-inks-1-5b-in-aviation-biofuels-contracts/> (2016. 02. 03.)
- [27] Sierra Biofuel. BiofuelDigest http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/wp-content/uploads/2013/07/Fulcrum-SierraRenderingCropped_000.jpg (2016. 02. 03.)
- [28] Carbon Engineering honlapja <http://carbonengineering.com/about-ce/> (2016. 02. 04.)
- [29] Courtesy of Carbon Engineering: Carbon Engineering is developing a technology, shown in this rendering, in which a water-based solution absorbs CO2 from air that is passed through devices known as air contactors. [environment 360 http://e360.yale.edu/slideshow/rethinking_carbon_dioxide_from_pollutant_to_asset/70/1/](http://e360.yale.edu/slideshow/rethinking_carbon_dioxide_from_pollutant_to_asset/70/1/) (2016. 02. 04.)
- [30] Carbon Engineering: CE's Air Capture System: In's and Out's Carbon Engineering <http://carbonengineering.com/air-capture/> (2016. 02. 04.)

- [31] D. Kennedy: Canadian firm builds giant 'scrubber' to pull CO2 from the air. Cleantech Canada, August 12, 2015 <http://www.canadianmanufacturing.com/technology/canadian-firm-builds-giant-scrubber-to-pull-co2-from-the-air-152497/> (2016. 02. 03.)

DEVELOPMENTS CONNECTED WITH ALTERNATIVE FUELS, DRIVINGS IN THE YEAR OF 2015

The traffic, including air traffic, has been continuously developing. Recently more and more people have chosen it as a means of transport, which consequently increased the amount of greenhouse gases in our atmosphere. Today more and more percent of the society aware of their responsibility for our environment trying to decrease the emission of harmful pollutants. There are plenty of developments using alternative fuels and power sources from Europe to North America. Some of them are promising or even proved technologies, meanwhile, of course, some others are futile. In 2015 the researchers in this field typically tried to work out complex solutions to decrease the accumulation of harmful pollutants on the earth surface and in atmosphere. That kind of initiation was to produce fuel from communal garbage or from the extracted atmosphere carbon dioxide for aerial vehicles easing the huge energy-hunger of aerial traffic and lowering the existence of pollutants. Beside the previous solutions such innovations from the field of alternative driving, like exploitation of solar energy or the hybrid systems, also deserve the attention.

Keywords: solar energy, hybrid driving, electric aircraft, waste, carbon dioxide

Rozovicsné FEHÉR Krisztina
mérnök tanár
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék
rozovicsne.feher.krisztina@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-5057-733X

Rozovicsné FEHÉR Krisztina (MSc)
Engineer teacher
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
Department of Aircraft And Engine
rozovicsne.feher.krisztina@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-5057-733X



<http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2016.pdf>

Palik Mátýás

100 ÉVES A MAGYAR REPÜLÉSIRÁNYÍTÁS

Az I. világháborúban felgyorsult a repülés-technológia, a repülőgépgyártás és a pilóta kiképzés. Az emberek ráismertek, hogy ha nem fejlesztik a repülőgépek földi irányítását, akkor sok repülőgép-katasztrófa fog bekövetkezni, mint volt az az első autók idejében is. A repülésirányítás feladata, hogy megelőzze az összeütközést a légi járművek között és segítse azok biztonságos és folyamatos repülését. A szerző a cikkben ismerteti a magyar repülésirányítás fejlődését a kezdetektől napjainkig, bemutatja a fontosabb eseményeket, az irányításban alkalmazott technikai eszközök és az irányítók képzési rendszerét.

Kulcsszavak: légiforgalmi szolgálatok története, légi forgalmi irányítás, repülőtér, radar

1. A REPÜLÉSIRÁNYÍTÁS KEZDETE

1.1 Az első lépések

Az 1914-ben felépített csepeli rádióállomás helyettes vezetője, Gasparik László postaellenőr által írt cikkből kiderül, hogy a Németországból a Földközi-tenger vidékére tartó katonai léghajók kiszolgálására Temesvár mellett létesült egy úgynevezett Gonió-állomás¹. A cikk szerint a 30 kW teljesítményű, csillapított hullámú rádióállomás 1916. január 31-én kezdte meg működését. Valószínűséggel ez volt az első olyan, államilag létesített szolgálat, amely a légi járművek földi irányításának céljára jött létre.² Ez a szolgálat volt a magyar légiforgalmi irányítás őse, a rádió-iránymérő szolgálat, ezért ezt az időpontot tekinthetjük a magyar légiforgalmi irányítás születése napjának [1]

1920- an megalakult a Magyar Aeroforgalmi Részvénytársaság (MAEFORT), amely rendszeres légiposta- és áruszállítást bonyolított le belföldön. Ez a vállalat egy év múlva feloszlott.

Az első világháború miatti repülési tilalom ellenére egy légitársaság rendszeres járatokat indított Budapestre, ezért került telepítésre az első rádió adóállomás Csepelen. Ekkor kerültek felállításra az első szolgálatok is a mátyásföldi repülőtéren. A szolgálatot 1923 márciusától a magyar királyi Posta Központi Távíróhivatal Rádió-üzemközpont Repülőtéri Kirendeltsége látta el. A feladatuk az volt, hogy a különböző repülőterek közti információcserét biztosítsák (meteorológiai, repülési információk). Később ezek a kirendeltségek végezték a forgalom irányítását is.

1922-ben a repülési tilalmat feloldották és két légiforgalmi vállalkozást is alapítottak. Az egyik az AEROEXPRESS Rt., a másik a Magyar Légiforgalmi Rt. (MALÉRT) volt, melyet később átneveztek MALERT-re. Pár évvel később már rendszeres légi szállítás, légiforgalom zajlott Magyarországon, amely – többek között – maga után vonta a szolgálatok megszervezését is a különböző repülőtereken (Budapest, Mátyásföld, Debrecen, Szeged, Miskolc, Nagykanizsa).

¹ Goniométer (gör) két sík hajlásszögét mérő szögmérő műszer, goniometria = szögmértan (Idegen szavak kézikönyve)

² Mivel ebben az esetben az iránymérő-szolgálat tagjai utasítást nem, csak tájékoztatást adtak a léghajók személyzetének, ezért ha egészen pontosak akarunk lenni, akkor a Repüléstájékoztató Szolgálat őseivel állunk szemben.

Ezeket a szolgálatokat az 1924-ben felállított Légügyi Hivatal alárendeltségében a repülőtéri gondnokságok látták el, ezen belül a feladatokat pedig a repülőtéri csendőr különítmények. [dóra]

A repülőtereken a reptérrend biztosította a folyamatosságot és a zavartalan működést. Ezt a dokumentumot a repülőtér vezető szervezte meg a repülőtérre vonatkozó legfontosabb szempontok alapján. Az elkészült iratot jóváhagyás céljából benyújtották a Légügyi Hivatalhoz, amely ha elfogadta, akkor azonnali hatállyal életbe lépett.

A repülőtér reptérrendjének tartalmaznia kellett:

- a repülőtér nappali és éjszakai őrszolgálatát;
- a légijárművek személyzetének a repülőtéri Csendőrparancsnokság által történő eligazítása;
- a légijárműveknek a földön és a levegőben követendő magatartása;
- a repülőtér tűzvédelmi utasítását.



1. ábra Luft Hansa „Pfeil”Junkers Ju-160 Mátyásföldön.³

A repülőtereken alkalmazott korabeli szabályok eléggé primitíven hatnak egy mai reptéren alkalmazott szabályokkal és szabályzókkal szemben, de ne feledjük, jóformán még gyerekcipőben járt a repülés.

A repülőtéren akkoriban a következő szolgálatok működtek:

- **REPÜLŐTÉR VEZETŐ** volt egy személyben a repülőtéri csendőr kirendeltség parancsnoka is. Feladata volt egyben a vezetése alatt álló repülőtér repülőtérrendjének összeállítása
- **REPÜLŐTÉRI ÜGYELET** a szolgálati idő a legtöbb repülőtéren napnyugtától napkeltéig tartott, mivel ezeken csak ebben az időközben lehetett repüléseket végrehajtani. Azonban azokon a repülőtereken, amelyeken éjszakai repülések is voltak (Mátyásföld), éjjeli szolgálatot is kellett adni.
- **REPÜLŐTÉRI CSENDŐR** az aktuális repülőtéri ügyeletet ellátó személy. Feladata volt a rend betartatása, helyes és folyamatos ügymenet biztosítása, a gépek indításának, a fel- és leszállásának engedélyezése, mely zászló- illetve fényjelzésekkel történt.
- **SZERELŐ SZEMÉLYZET** minimum egy repülőgép kiszolgálásához, és karbantartásához elegendő személyzet.
- **RÁDIÓTÁVÍRÁSZ** feladata az időjárás jelentések felvétele, és továbbítása a repülőtér vezető felé.

³ Forrás: Kunár–Moys: Repülőtéri csendőrség a két világháború között, 46. oldal

→ ELSŐSEGÉLY SZOLGÁLAT egy főből álló elsősegélynyújtásra kiképzett személy. [ATI]

Magyarországon 1922-től rendeletekben fogalmazták meg az 1919-ben – az Amerikai Egyesült Államok, Nagy-Britannia, Franciaország, Olaszország és Japán által – elfogadott Párizsi Egyezmény nemzetközi szabályait, melyeket több ország a légiközlekedés biztonsága érdekében elfogadott és teljes egészében átvett. Ezek közé tartozott többek között gróf Bethlen István m. kir. miniszterelnök által aláírt jogszabály is, mely 1922 december 19-én lépett hatályba. Ez a jogszabály kitér a „légi járóművek” üzemeltetésének, a személyzet szakszolgálati engedéllyel történő ellátásának, a „légi vállalatok” létesítésének, a fuvarozásnak, a kártérítésnek, sőt, még a postagalambok szállításának a feltételeire is. A repülési szabályok között már feltűnik a kijelölt légi útvonalak, a tiltott légterek, és a külföldi légi járművek számára a viszonyosság elvén nyújtott berepülési engedély fogalma is [1].

A kialakulóban lévő rendszeres légiforgalom megkövetelte a megfelelő földi szolgálatok megszervezését is, beleértve a repülőterek megfelelő kialakítását és felszerelését. Ebben az időben a légirendészeti és a légiforgalmi irányítási tevékenység egyet jelentett, illetve nem vált szét egymástól, a két feladatot a repülőtéren csendőr különítmények látták el egyben [2].

1.2 A két világháború közötti időszak

Az 1920-as évek kezdetén jelent meg a rádió, mely a légiforgalmi irányítás fejlődéséhez nagymértékben hozzájárult. Akkoriban a rádiókészülékeket még csak repülőterek közötti forgalmazásra használták, mely során meteorológiai adatokat, valamint a repülőgépek várható indulási és érkezési idejét közölték egymással az állomások. Később a rádiók a repülőgépek fedélzetén is megjelentek, így a hajózó személyzet kellő időben tájékoztatást kaphatott többek között az időjárásról, repülőtéren állapokról és a légiforgalomról is. Természetesen ez fordítva is működött, a repülőgép személyzete is adhatott hasznos információkat a földi állomásoknak, vagy a többi légi járműnek, például az általa észlelt veszélyes időjárási jelenségről [5].



2. ábra A Mátyásföldi rádió-kirendeltség távirás munkahelye az 1920-as években⁴

A rádiók annak idején még viszonylag nagyméretű berendezések voltak, mely elterjedésüket nehezítette. Ehhez hozzájárult még bonyolult kezelhetőségük is. Az információ még nem

⁴ Forrás: Renner P: Fejezetek a magyar légiforgalmi irányítás történetéből 1916-2000, 17. oldal

hallható hang, hanem Morse jelek formájában jutotta el az adó állomásról a vevő állomásra. A kommunikáció gyorsítására a hajózásban korábban már bevált Q-kódokat kezdték el alkalmazni a repülésben is, lerövidítve ezzel az adások hosszát. Ennek a lényege az, hogy meghatározott kulcsszavakat, kifejezéseket, közleményeket 3 betűből álló kóddal helyettesítettek, melynek az első karaktere a Q betű volt, melyből a rendszer a nevét is kapta. A kódok kérdés-ként és válaszként is értelmezhetők. A nemzetközi légiközlekedésben a Q-kód rendszert valamivel később, 1948-ban a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (International Civil Aviation Organisation – ICAO) szabványosította.⁵

Kód	Kérdés	Válasz/Tanács
QAH	Mi a magassága ... (dátum)? repülési szinten vagyok/magasságom ...
QAN	Mi a felszíni szél iránya és sebessége ... (hely)?	A felszíni szél iránya és sebessége ... (hely) ... órákor ... (irány) ... (sebesség).
QDR	Mi a mágneses irányom tőled (vagy valamitől ...)?	Az Ön mágneses iránya tőlem (vagy attól ...) ... fok (... óra).
QFA	Mi a meteorológiai előrejelzés ...(repülésre, útvonalra, útvonalrészletre vagy szektorra) közötti időszakra ... órától,... óráig?	A meteorológiai előrejelzés ...(repülésre, útvonalra, útvonalrészletre vagy szektorra) közötti időszakra ... órától,... óráig?
QNH	Mit kell beállítanom a magasságmérő alskáláján, hogy az azt a magasságot jelezze, amikor a repülőgép az Ön állomásánál, a földön van?	Ha a magasságmérő alskáláján olvasni ... millibarig, a műszer azt a magasságot jelzi, amikor a repülőgép földön volt az én állomásomon ... óra.

3. táblázat Példák a Q-kódokra⁶

A nagytávolságú kommunikációs kapcsolati lehetőségen kívül a rádió nagyban hozzájárult a navigáció fejlődéséhez is. Mivel a személyzet a földi rádiókezelőket meghatározott időben tájékoztatta a tényleges helyzetéről (pozíció, irány, sebesség, magasság), azok ezt nyilvántartva képet kaphattak a repülőgépek egymáshoz viszonylagos helyzetéről is. Fontos azonban megemlíteni, hogy a földi rádió-iránymérő szolgálatok akkoriban nem adtak engedélyeket a repülőgépeknek, hanem csak tájékoztatásokat nyújtottak. A felelősség így teljes egészében a légi jármű személyzeté maradt.

Az egységes frekvencia-felosztás érdekében 1927-ben a repülésben érdekelt államok képviselői konferenciát tartottak Washingtonban, ahol a rádiófrekvenciákat a szolgálatok számára kiosztották, amelyek így később már egymás rádiózavarása nélkül tevékenykedhettek.

Ennek alapján:

- ➔ a 194–285 kHz a légimozgó és az állandóhelyű légiforgalmi (lég/föld) összeköttetések céljára;
- ➔ a 285–315 kHz kizárólag földi rádió – irányadó állomások (Radio range, NDB) céljára;
- ➔ a 315–350 kHz a légimozgó szolgálat céljára, ezen belül a 333 kHz-et a nemzetközi forgalomban általános hívás céljára;
- ➔ az 500 kHz a segélykérő frekvencia (tengeri hajózásban és a repülésben) céljára.

Magyarországon 1933-ban egy rendeletet is kiadtak a légi rádiószolgálat ellátásával kapcsolatban:

⁵."Doc 6100-COM/504/1", "ICAO Procedures for Air Navigation Services, Abbreviations and Codes (PANS-ABC)" kiadványokban

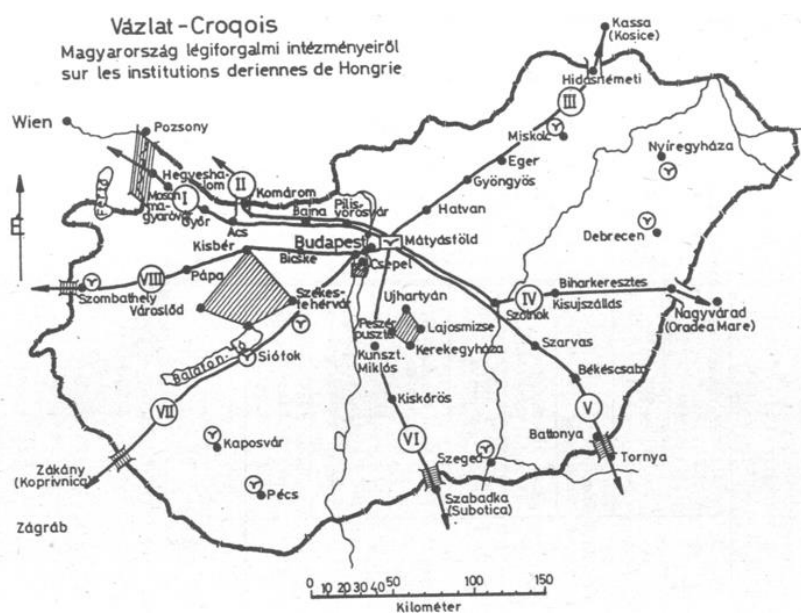
⁶ Forrás: Szerkesztette a szerző, <http://www.slideshare.net/corix/list-of-q-codes> alapján

„A légi rádió szolgálat az alábbi négy részre tagozódik:

- a) a repülőtereknek egymás közötti forgalma,
- b) a légi járómű rádiószolgálat, amely magában foglalja:
 - I. a repülőtereknek a légi járóművekkel való forgalmát,
 - II. a légi járóműveknek egymás közötti forgalmát,
 - III. az irányjelző, illetőleg helymeghatározó szolgálatot,
- c) a légi forgalommal kapcsolatos meteorológiai szolgálat,
- d) a magántávíró (utastávírat) szolgálat. [...]

A nyilvános légi rádiószolgálat önálló ellátásának csak olyan rádió, távíró (távbeszélő) kezelőket lehet alkalmazni, akik e szolgálat ellátására a m. kir. Posta vezérigazgatóság és a m. kir. Légügyi Hivatal által közösen alakított vizsgabizottság előtt a washingtoni egyezmény (1929: VI.tc.) 7. Cikke, illetve a mindenkor érvényben lévő jogszabályok szerint megkívánt képesítés megszerzését igazolják és képesítésük gyakorlására a m. kir. Légügyi Hivataltól szakszolgálati engedélyt kaptak. [...]

A vizsga tárgyai: nemzetközi rádiótávíró egyezményben megállapított tárgyakon kívül, legalább két idegen nyelvnek, a németnek és a franciának a szolgálat követelményeihez képest való ismerete.”⁷



4. ábra Magyarország légiútvonál-hálózatának térképe 1933-ban⁸

Ugyanebben az évben már a külföldi légi járművek magyar légtérben történő közlekedéséről is rendeletet adtak ki, tehát a nemzetközi légiközlekedést is szabályozták országunkban. Ezek szerint a külföldi légi járműnek, ha a magyar légtérben hajtott végre repülést, engedéllyel kellett rendelkeznie. Az engedély tartalmazta a légi jármű pontos útvonalát, a be- és kirepülési határkappal egyetemben és a külügyminiszter, valamint a honvédelmi miniszter hagyta jóvá.

A harmincas évek elején felmerült egy új nemzetközi repülőtér felépítésének gondolata, amely azonban a gazdasági világválság miatt lekerült a napirendről. Helyette Mátyásföldön

⁷ Forrás: Dr. Moys P: A légiforgalmi irányítás története, 7. oldal

⁸ Forrás: Renner P: i.m. 28. oldal

hajtottak végre különböző korszerűsítéseket. 1936-ban felépült a fogadóépület egy üvegezett parancsnoki toronnyal. A fogadóépületben várakozhattak az utasok és a kísérők, itt hajtották végre az iratok ellenőrzését és a poggyászok kezelését is. A repülőtér – leszámítva kevésbé kedvező domborzati és talajviszonyait –, minden szempontból európai színvonalú volt, beleértve a légiforgalmi rádiószolgálat felszereltségét is. A kör alakú főépület második emeletén helyezkedtek el a rádiószolgálat és a repülőtér-parancsnokság helyiségei, és innen lehetett feljutni az üvegezett parancsnoki toronyba.



5. ábra A Budaörsi repülőtér utasforgalmi épülete⁹

Az egyre sűrűbbé váló légiforgalomnak köszönhetően felmerült az igény, hogy a földi szolgálatok ne csak tájékoztassanak, hanem irányítsák a repülőgépeket, adjanak ki engedélyeket és különítsék el őket egymástól [1].

1.3 Repülésirányítás a II. világháborúban

A II. világháborút megelőzően, 1939-ben a polgári és katonai repülésirányítás hivatalosan is szétvált. Már az I. világháború éveiben is létezett katonai repülésirányítás, de még gyerekcipőben járt. A repülésvezetők csak a fel- és leszállásokat irányították kar- és fényjelzésekkel. Az adott korban a technikai berendezések hiányában, nem tudtak pontos rávezetést alkalmazni a bombák minél pontosabb célba juttatása érdekében. A pilóták saját döntés alapján dobták le a bombákat, így a legfőbb követelményt, a pontosságot nem lehetett biztosítani. Később, hogy a pontosságot növeljék, navigátorokat alkalmaztak a repülőgépek fedélzetén.

A háború kitörésével a MALERT repülőgépeit és pilótáit a háború szolgálatába állították, repülőterei az évek során teljes mértékben tönkrementek. A polgári repülés rádió iránymérő és távközlő szolgálat biztosítását a magyar királyi Posta Központi Távíróhivatal Rádió-üzemközpont Repülőtéri Kirendeltsége visszavette a Légügyi Hivataltól, immáron budaörsi székhellyel. A katonai repülések viszont továbbra is a Légügyi Hivatal alárendeltségében maradtak. 1944-ben visszakerül a polgári rádiószolgálat is a Légügyi Hivatalhoz mátyásföldi központtal.

A katonai repülőterek a II. világháború végére az alábbi szolgálatok jöttek létre:

- ➔ **REPÜLÉSVEZETŐ:** a repülésvezető mindig a hajózó személyzet állományából került ki. Ismerte a repülőtér szerkezetét, környezetét, szabályzatát. Feladata volt a felhasználási rend betartása. Engedélyezte a le- és felszállásokat. Repülés előtt időjárás felderítést hajtott végre. Utasítást adott ki a rádió- és fénytechnikai berendezések működtetésére.

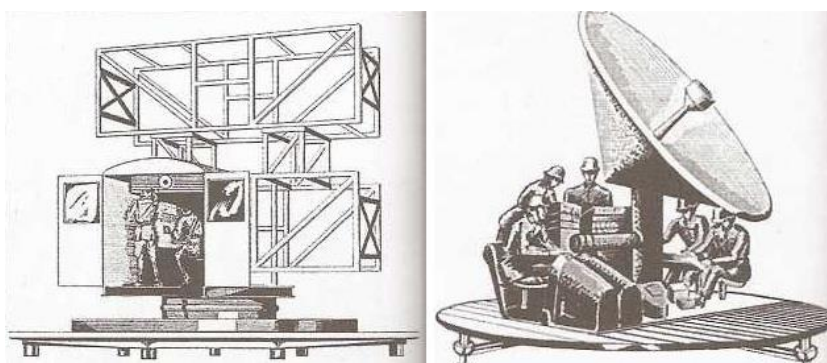
⁹ Forrás: Renner P: i.m. 29. oldal

- LESZÁLLÁS-IRÁNYÍTÓ: feladata a leszálló gépek vizsgálata távcsővel a leszálló mező elején. Futómű helyzetének és a gép sikló pályán való tartózkodásának vizsgálata, valamint ennek hiányában korrekciók kiadása a pilóta számára.
- TECHNIKUS: rádió- és fénytechnikai eszközök üzemben tartása.
- METEOROLÓGUS: a repülőtér körzetében lévő időjárás folyamatos vizsgálata, és a repülésvezető tájékoztatása a változásokról.
- DISZPÉCSER: repülések nyilvántartása, folyamatos összeköttetés és adatcsere a körzetben lévő többi reptérrel.
- MEGFIGYELŐ TISZT: útvonalrepülések és célobjektumok csapásmérésének ellenőrzése, segítségnyújtás a légi tájékozódásban.

A katonai irányítás rá volt kényszerítve, hogy nagy fejlődésen menjen keresztül. A rádiók már a katonai repülőgépek fedélzetén is megjelentek, elterjedtek a radarok, megalkották a repülőtéri szabályokat. Felállítottak a légvédelmi figyelő és a jelző szolgálatot, aki ellenőrizték a magyar légteret. Amikor ellenséges repülőket észleltek hang-, radar- vagy vizuális felderítéssel, akkor riasztották a legközelebbi repülőteret, ahonnan felszálltak a vadászipülőgépek. A pilóták aztán már vizuális felderítéssel folytatták feladatukat [4].

A radarnak, mint a repülésirányítás fontos technikai eszközrendszerének megalkotásában számos hazai tudósnak is meghatározó szerepe volt. A magyar katonai vezetés 1942 végére meghatározta, hogy milyen típusú és milyen paraméterekkel rendelkező lokátorokra lenne szükség a légtér védelméhez. Ezek értelmébe négyfajta radarberendezést kellett volna létrehozni, de a háború befejezéséig azok közül az alábbi kettő készült el:

- A bombázó kötelékek nagy távolságból történő felderítésére egy 500 km hatótávolságú felderítő lokátorra, melynek a legfontosabb feladata a támadó kötelék jelenlétének, haladási irányának, és a támadó gépek számának meghatározása. A berendezésnek a „SAS” fedőnevet adták, utalva a nagy távolságba is élesen látó madár szemére.
- A támadó gépek elhárítását segítő, egy 30 kilométeres hatótávolságú, a légvédelmi tüzérség számára pontos irány-, és távolságadatokat biztosító radar, melynek fedőneve a tüzérség védőszentje nyomán „BORBÁLA” lett.



6. ábra A SAS és a BORBÁLA radarok¹⁰

A „SAS” berendezés két, egymásnak háttal összeépített parabolikus rácsantennából állt, így a két antenna együtt teljes körben látott. A rendszert két katona kezelte, egyikük a műszer beállítását végezte, a másik a céljel távolsági és oldalszög adatait olvasta le. A leolvasott célada-

¹⁰ Forrás: <http://m.cdn.blog.hu/la/lazarbibi/image/borbala.jpg>

tokat telefonon vagy rádión továbbította a Kis- Gellért-hegy alatt lévő „Sziklaközpont”-nak. A „Szikla” rendelte el a vadászrepülőök riasztását, megadva számukra az ellenséges légi járművek helyzetét és mozgási irányát. A céladatokat a légvédelmi tüzéség számára is eljuttatták, akik akkor kapcsolódott be a harcba, amikor a cél repülőgép belépett a „Borbála” radarjának hatósugarába, és az általa szolgáltatott adatok alapján biztosították a pontos tűzvezetést [1].

1.4 Az 1945-1949 közötti időszak

A háború befejezésével a magyar légiközlekedést romjaiból kellett újjáépíteni. A rádióállomások, a repülőtéri épületek és a repülőgépek szinte teljes mértékben megsemmisültek a pusztításban. A bombázások által tönkrement repülőtereken megkezdődtek a romeltakarítási munkálatok és újjáépítések. Újjáépítésre kerültek többek között a Lágymányos Távbeszélő központ, a Lakihegyi rádió adóállomás és a Lakihegyi antennatorony is.

1945-ben a Közlekedési és Kereskedelmi Minisztérium újonnan megalakult Légiközlekedési Főosztálya lett a felelős a légiközlekedési ügyek szabályozásának. Egy évvel korábban, 1944-ben létrejött az ICAO, a Chicagói Egyezmény 52 állam általi aláírásával. Ebben az egyezményben világosan meghatározták a légiforgalmi szolgálatok megszervezését, képzési követelményeit stb. figyelembe véve a nemzetközi elveket. Az egyezmény mellékleteiben megfogalmazott szabályokat és szabványokat Magyarország is alkalmazni kívánta. Ennek érdekében a Szövetséges Ellenőrző Bizottság segítségével kapcsolatba lépett az Ideiglenes Nemzetközi Polgári Repülési Szervezettel, hogy újrászervezzék a magyar légiforgalmi szolgálatokat a nemzetközi egyezményeknek megfelelően. Nem sokkal később már ezek alapján az ajánlások alapján állították fel a szolgálatokat (légtérvigyázó és repülésvigyázó szolgálat) és szereztek meg a szakszolgálati engedélyt számukra. Fő feladatuk a légtér nyilvántartása volt, illetve figyelték légi járművek mozgását, szükség esetén tájékoztatták őket és a többi szolgálatot. A Budaörsi repülőtéren repülőtéri és bevezető irányító szolgáltatást nyújtottak.

A legnagyobb felelősséggel rendelkező szolgálat a repülésvezető szolgálat volt. A repülésvezető felelt a repülőtér teljes üzeméért és ő döntötte el – a meteorológiai szolgálattal való szoros koordinációt követően –, hogy a repülőtér az adott időjárási körülményeket tekintve üzemelhet-e.

Kezdetekben a meteorológiai szolgáltatást az OMSZ Repülőtéri Meteorológiai Szolgálat nyújtotta. A légiforgalmi szolgálatok berendezéseinek pótlása, felújítása és üzembe állítása hatalmas munkával járt. 1946-ban felállítottak egy rádió-iránymérő állomást és egy rádióadót is. A szolgálatot és az iránymérést a repülőgépek számára a Posta Repülőtéri Rádióhivatal látta el.

A szovjetek a háború befejeztével egyre jelentősebb befolyásra tettek szert az ország életében, a gazdaságban, és a légiközlekedésben is. 1946-ban, a háború befejezése után egy évvel megalapították a MASZOVLET-et, a Magyar-Szovjet Polgári Légiforgalmi Rt.-t. Ez a társaság kezdetben csak belföldi járatokat üzemeltetett, majd nem sokkal később már nemzetközi járatokat is indított. Országunk rá volt kényszerülve a szovjet segítségre, hiszen a magyar légiközlekedést helyre kellett állítani, elsősorban az átrepülő forgalom biztosítása miatt. Ekkor már a forgalomirányító szolgálatok működtek a repülőtereken, melyeket még mindig a Magyar Posta Repülőtéri Rádióhivatal alkalmazottjai látták el.

1948-ban Budaörsön létrehozták a Control szolgálatot, amely a mai Körzeti Irányító Központ első elődjének tekinthető. Ott tartották nyilván a légi helyzetképet a légijárművek jelentései alapján, melyekről folyamatosan tájékoztatták a katonai légvédelmi szolgálatokat is [2].

A katonai repülésirányítás is nagy változáson ment át. Egyre több rádió-iránymérő állomást hoztak létre, egyre több légijármű települt a repülőtereken és egyre modernebb repülőtéri és légvédelmi berendezés került telepítésre. Létrehozták a repülő nemeket, melyek az alábbiak voltak: vadászok, bombázók, futárrepülők, szállító repülők és helikopterek.

Az ország különböző részein kialakították az első harcálláspontokat, e mellett kiépítésre került a vadászirányító rendszer is. 1949-ben megkezdődött a katonai repülésirányító képzés, a vadászirányító-megfigyelő tisztképzés. A tanfolyamot a Szovjetunióban tartották és elvégzéséhez négy év volt előírva. Később már az ott végzett szakemberek adták a megépített harcálláspontokban a megfigyelői és a vadászirányító szolgálatokat [4].

2. A TECHNIKAI FEJLŐDÉS KEZDETI KORASZAKA

2.1 Az '50-es évek fejlesztései

1950. május 7-i megnyitással megkezdődött a Ferihegyi repülőtér üzemeltetése. Szerencsére az akkori magyar kormány hamar felismerte a repülésben rejtőző lehetőségeket, melyek jelentős bevételt jelentettek az gazdaság számára. Ennek érdekében óriási pénzüsszegeket folyósított, és állított rendelkezésre az építés minél hamarabbi befejezéséhez. A felújítások során elkészült a 2500 méter hosszú pálya, és telepítettek két középhullámú NDB állomást is 31-es pályairányban. A repülőtéren repülésvigyázó, meteorológiai és rádiótávírász szolgálatok működtek. A Ferihegyi Nemzetközi Repülőtér repülésvigyázó, meteorológiai és rádiótávírász szolgálatokkal látták el, még ebben az évben megkezdtek munkájukat az első női rádió-távírászok is.



7. ábra A Ferihegyi repülőtér főépülete az átadáskor¹¹

¹¹ Forrás: Renner P: i.m. 62. oldal

A következő években gyors ütemben növekedett a polgári légiforgalom, a repülések száma nagymértékben nőtt. Ez maga után vonta a létszám bővítést és a folyamatos fejlesztéseket. Egyre több légitársaság indított menetrend szerinti járatokat Budapestről, illetve Budapestre.

1954-ben a magyar polgári légiközlekedés már szovjet segítség nélküli működésre is képes volt, MASZOVLET jogutódjaként megalakult a MALÉV, a Magyar Légiközlekedési Vállalat [1].

1955-ben a Control Szolgálatot átnevezték és Repülésvigyázó Szolgálat néven működött tovább. Ezen belül tevékenykedett a Repülés bejelentő, a Rádió-iránymérő szolgálat, az Irányító Torony és az Útvonal-irányítás. Még mielőtt a már önálló magyar légiközlekedés fellendülhetett volna, 1956-ban kitört a forradalom az országban. A megmozdulások során a repülőterek és az irányítói berendezések, a rádió-iránymérők sajnos teljesen tönkrementek. A légiközlekedés szerencsére még abban az évben megindult, igaz, hogy csak a belföldi járatok folytattak repüléseket.

Katonai repülésirányítói képzés a forradalom miatt 1956-ban nem indult. A polgári légiközlekedést ugyanúgy újjá kellett szervezni, mint a II. világháború után, ezért 1957-ben felállították a Légügyi Főigazgatóságot [4].

A MALÉV nagy fejlesztésekbe kezdett sok területen, új gépeket vásároltak, amelyek már modernebb fedélzeti berendezésekkel voltak felszerelve. Ez magával hozta modernebb földi irányítás-technikai eszközök szükséges beszerzését. Új NDB rádió irányadó berendezéseket telepítettek Bugacon és Polgáron. 1958-ban felállították a műszeres leszállító rendszert (Instrument Landing System – ILS) és az új bevezető fénysort is telepítettek. Ezekkel az eszközökkel jelentősen megkönnyítették mind a pilóták, mind az irányítók munkáját is.



8. ábra Szolgálatban a Controlban, az ötvenes évek közepén¹²

A fejlesztéseknek köszönhetően nagy nemzetközi légitársaságok indítottak menetrend szerinti járatokat Budapestre. A forgalom növekedésével még fontosabbá vált a gépek biztonságos elkülönítése, mely irányítói feladat volt. Ennek érdekében egy új módszert bevezettek be a repülések nyilvántartására. Kezdetben egy speciális terepasztalt (Mirákulum) használták erre

¹² Forrás: Renner P: i.m. 65. oldal

a célra, de ez hosszútávon nem vált be. Később repülés-nyilvántartó szalagokat kezdtek el használni a forgalom kezelésére. A közleményváltásokat akkoriban még nem magnószalagra rögzítették, hanem könyvet vezettek, amelybe kézzel írtak.

A fejlesztések természetesen maguk után vonták az irányítók továbbképzését is. Az első és legfontosabb, hogy – a leszállító berendezések telepítését követően – 1959-ben létrehozták a bevezető irányító szolgálatot, az Approach-ot. Az Approach feladata abból állt, hogy az érkező légi járműveket a Közelkörzeti légtérben (Terminal Manoeuvring Area – TMA) a leszállást biztosító végső egyenesre irányítsa. Azok, akik ezt a feladatot elláthatták, korábban távirászok vagy repülésvigyázók voltak, akik gyakorlati képzésen vettek részt Moszkvában, ahol „*az RSzP-4 rádiólokátor rendszerben történő repülőgép forgalom irányításból*” sikeresen levizsgáztak. Mielőtt megkezdték a munkájukat, a Légügyi Főigazgatóságtól megkapták a lokátor-operátor szakszolgálati engedélyt. Így ekkorra a polgári irányításban már három irányítói szolgálat is létezett, mivel a repülőtéri- és az útvonal-irányítás már korábban szétvált. Ezek a szolgálati egységek már ekkor is szoros koordinációt valósítottak meg a repülések biztonságos lebonyolításáért [1].

1959-ben megkezdődött az első hivatalos, szervezett civil repülésirányító képzés, mely hat hónapig tartott. Az oktatók aktív repülésirányítók voltak. A tanfolyam alacsony színvonalú volt, mivel sok óra elmaradt az oktatók munkája miatt. Nehezítette a felkészülést, hogy sokszor tananyag sem állt a tanulók rendelkezésére. A tanfolyam az alábbi témaköröket fogta össze:

- repülési szabályok ismerete;
- repülés irányítási szabályok ismerete;
- rádió távbeszélési alapismeretek;
- táviratszerkesztés és távközlési ismeretek;
- angol és orosz nyelvű fónia;
- repülésirányítási eljárások;
- repülésirányítás eszközei, valamint
- rádiótechnikai ismeretek.



9. ábra A Ferihegyi repülőtér irányítótornya az ötvenes években¹³

¹³ Forrás: Renner P: i.m. 62. oldal

A repülőtéri szolgálatok életében kiemelt helyet foglalt el a repülésvezető. Ezt a szolgálati beosztást nagy repülési tapasztalattal, és nagyszámú repült órával rendelkező hajózó személyzet látta el. Ez a rendszer 1957-től megváltozott, mivel a szolgálatot már nem a pilóták, hanem a repülésvigyázók közül kikerült személyek látták el.

A repülésvezető rendelkezett mindennel a beosztási ideje alatt, az ő feladata volt a repülőtér folyamatos és akadálymentes működése:

- a teljes repülőüzemért ő felelt egy személyben;
- ő rendelkezett a repülőtér üzemeléséről, hogy nyitva áll-e a forgalom számára, vagy nem;
- üzemkezdtkor a nyitó, üzemzáráskor a záró távirat kiadása;
- repülőtérszemle;
- meteorológiai szolgálattal való folyamatos kommunikáció fenntartása.

A repülésvezető fő feladatai közé tartozott még, hogyha a külföldön, vagy korábban belföldön kitérő repülőtéren leszáll repülőgépek parancsnokaival való konzultáció, és a hazatérési lehetőségük megbeszélése. A sugárhajtóműves korszak elején a repülésvezető miután leszállító radarberendezés segítségével leszállította a repülőgépeket, a futópályán maradt fékernyő behozatala is az ő feladata volt. Fékernyő összeszedés közben pedig ellenőrizte, és felmérte a futópálya állapotát, akadálymentességét, hogy alkalmas-e ismételt le vagy felszállásra. Valamint fékhatás vizsgálatot is kellett végeznie, ha szükség volt rá. A fékhatás mérés műszeres vizsgálatának bejövetelekor ez a munkaköre megszűnt.

A katonai repülésirányítás is nagy fejlődésen ment keresztül ezekben az években. Rendszerbe állítottak különböző földi rádiónavigációs berendezéseket, radarokat. Megalakították a légvédelmi rakéta csapatokat. Létrehozzák a harcálláspontokat, majd a vadászirányító pontok rendszerét. Megalakul a repülőtéri rádió-, rádió navigációs- és rádiólokációs eszközöket üzemeltető Földi Repülésirányító Szolgálat (FRISZ) [4].

2.2 A '60-as évek

1960-ban a Repülésvigyázó Szolgálat újból átnevezésre került, Repülésirányító Osztályként működött tovább. Ezzel együtt a repülésvigyázókat is már repülésirányítóknak nevezték. Ők már forgalomirányítást is végeztek rádióon keresztül. Még ebben az évben a Légügyi Főigazgatóság kiadott egy utasítást, amelyben az ICAO Annex 1 szerint rendeletben szabályozták a repülésirányítók képzését és esetleges átképzését más szolgálat ellátása esetén, szakszolgálati engedélyének megszerzését, valamint osztályba sorolásukat. Ebben a rendeletben a repülésirányítókat már gyakran légiforgalmi irányítóként említik. Az irányítók angol és orosz nyelvet is használták az irányítás során, a magyar pilótákkal például egyik héten angolul, míg másik héten oroszul kellett kommunikálniuk. A már végzett repülésirányítók több külföldi továbbképző tanfolyamon is részt vehettek.

Megszokott gyakorlattá vált, hogy a ferihegyi repülésirányítók vidéki repülőtereken adtak repülőtér vezető szolgálatot. Ferihegyen a műszaki fejlesztések továbbfolytatódtak, a toronyban dolgozók új telefonokat kaptak, beszerelték a repülőtéri fények kapcsoló és visszajelző berendezéseit, és egy 16 csatornás magnetofont is a közlemények rögzítésére, így ezek után nem kellett vezetni a rádiólevelezési jegyzőkönyvet.

Ekkor már Bécs, Pozsony és Belgrád körzeti irányító központtal is volt közvetlen összeköttetése a ferihegyi toronynak, sőt, később már Arad és Lvov Körzeti Irányító központjaival (Area Control Centre – ACC-vel) is. Ezen kívül, hosszúhullámú rádió tudtak kapcsolatot tartani több európai repülőterrel. Magyarország megkötötte az első együttműködési megállapodását (Letter of Agreement – LoA) Bécs ACC-vel, majd nem sokkal később a másodikat is Pozsony ACC-vel. Emellett csatlakoztak a légiközlekedési állandóhelyű telekommunikációs hálózathoz (Aeronautical Fixed Telecommunication Network – AFTN) is. Ennek a rendszernek a segítségével összeköttetést létesíthettek több ország repülőtereivel, és légiforgalmi irányító szolgálataival, és megszathatták egymás között a repülésekről szóló légiforgalmi tájékoztatásokat [2].

Az 1960-as évekre Magyarországon teljesen kiépítették a légvédelmi rendszert, melyben már nem pilóták adták a szolgálatot. A harcálláspontokon harckészültségi szolgálat működött. Ebben az időben a katonai repülésirányítás is szétvált repülőtéri- és útvonal-irányításra. A következő szolgálatokat kellett adni váltásonként:

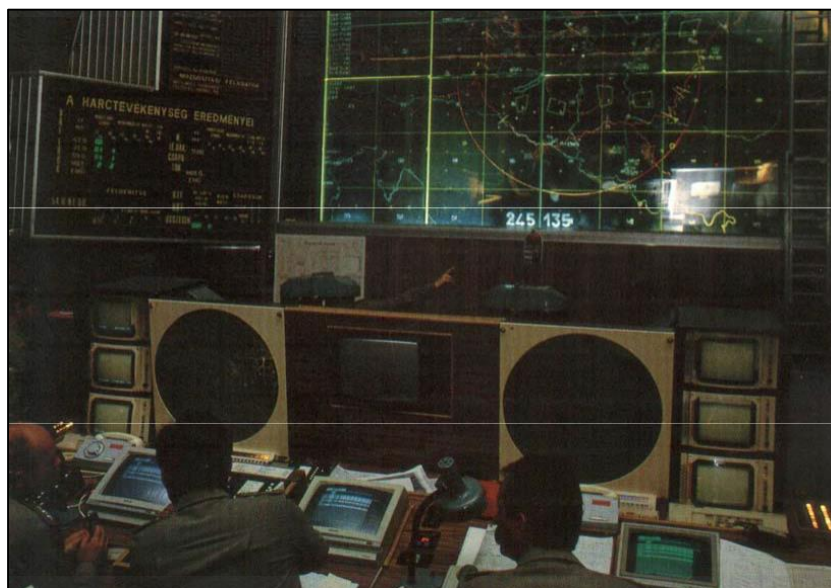
- ügyeletes váltásparancsnok;
- vadászirányító megfigyelő;
- tervtábla kezelő;
- RSZP leszállás-irányító tiszt;
- összekötő tiszt;
- ügyeletes repülésvezető;
- ügyeletes diszpécser;
- ügyeletes szinoptikus;
- híradó ügyeletes tiszt készültségi állomás műszaki parancsnok, illetve
- a készültségi repülőgép vezetők.

A vadászirányító-megfigyelő feladata volt a vadászrepülőgépek gyakorló- és valós készültségi repüléseinek irányítása számítások alapján, valamint radaradatok felhasználásával. Az ügyeletes repülésvezető a repülőteret igénybe vevő, gyakorló, átrepülő, vagy készültségi repülőgépek felszállásáért és a repülőter teljes üzemképességéért volt felelős. Az 1960-as években rendszerezítették hazánkban a MiG-21-es vadászgépet, ami új kihívás elé állította a katonai irányítókat, mivel ez a repülőgép rendkívüli manőverező képességgel bírt és nagy sebesség elérésére volt képes. Új útvonalakat, és magasságokat jelöltek ki ennek a típusnak és a repülési szabályokat is megváltoztatták. Utasításban is szabályozták, hogy a Magyarország légterében történő repülések esetén az irányítás felelőssége kit terhel. 1961-re a Légügyi Főigazgatóság hivatalosan is kiadta a légiforgalmi irányító szolgálat működési alapszabályait. 1961-ben Szolnokon újra megnyílt a Kilián György Repülő Tiszti Iskola, mely a következő években folyamatos fejlődésen ment keresztül. 1965-ben a Kilián György Repülőműszaki Főiskolán elkezdődött a vadászirányító képzés is, ahol a következők tantárgyak a szerepeltek a képzésben:

- légitájékozódás;
- légvédelmi harcászat
- repülési szabályzatok;
- vadászirányítás;
- repülőgép típusismeret;
- légvédelmi rakéta és tüzér ismeret.

A hallgatók számára gyakorló harcálláspontot alakítottak ki, amin gyakorolhatták végzés utáni feladataikat. Egy, az az angol haditengerészetől örökölt, hadizsákmányként őrzött - radar szimulátor alakították át az indikátor-megfigyelői (radarirányítói) munka gyakorolására. Emellett a vadászirányító hallgatókat a szolnoki repülő kiképző ezred harcálláspontjába vezényelték szolgálatba, annak érdekében, hogy a leendő szakmájukat már ekkor gyakorolhassák, hogy később minél magasabb szinten űzzék azt. 1967-ben főiskolává nyilvánították a "Kiliánt", kialakították a szakmai tanszékeket és elkészítették a részletes tantárgyprogramokat. A főiskola egy modern, 17 tantermes épületet is kapott. Pár évvel később az akkori korban modernnek számító oktatástechnikai eszközöket is bevezették az oktatás színvonalának javítása érdekében [4].

1963-ban a körzeti irányításnál kialakultak a ma is érvényben lévő munkahelyek, az ún. főnikus munkahely, ahol az az irányító dolgozik, aki a döntések meghozataláért felelős, illetve a koordinátor, aki a telefont kezeli. 1965 tavaszán hosszabb HM-KPM tárgyalások eredményeként a Távolkörzeti, vagy más néven Útvonal-irányítás beköltözött a „Sziklába”, a Kis-Gellérthegy gyomrában még a II. világháború idején kialakított bunker rendszerben lévő munkahelyre, ahol az Átrepülési osztállyal való „összeházasítás” során létrejött az Országos Repülésirányító Szolgálat (ORISZ). A szolgálat katona állománya a váltás parancsnok vezetésével a harcálláspont parancsnok hadműveleti alárendeltségében volt, a polgári állomány fegyelmileg és függelmileg a MALÉV Repülésirányító és Hírközlési osztály szervezetében maradt, de a közös munkavégzés érdekében a katonai váltásparancsnoknak alárendelve dolgozott. Ez az átszervezés a katonai légvédelmi rendszer számára volt csak előnyös [1].



10. ábra Légvédelmi harcálláspont, a háttérben az ÁTK tábla.¹⁴

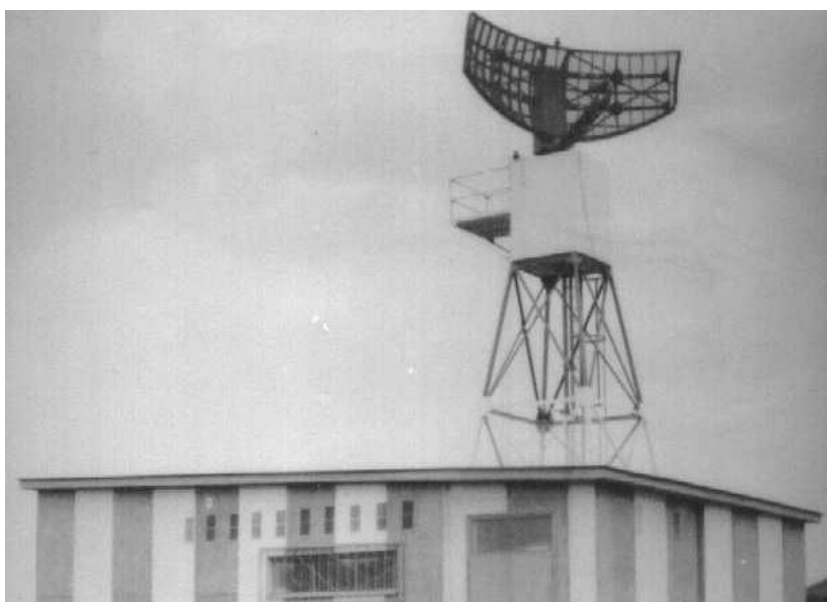
A polgári Útvonal-irányító részleg rosszabb munka-feltételek közé került a ferihegyi elhelyezéshez képest, ugyanakkor technikailag is hátrányba került a közelkörzeti irányítással szemben, mivel nem volt lehetősége, hogy a Ferihegyen 1964–65-ben telepített Plessey AR-1 radart használja. Maradt a repülőgép-vezetők helyzetjelentéseire alapuló „eljárás” irányítás, meg az általános helyzetnyilvántartó térkép (ÁTK), amelyen a második világháború idején alkalmazott technikával, zsírkrétával rajzolták a célkövetésbe vett repülések haladását. Ez a rend-

¹⁴ Forrás: Renner P: i.m. 78. oldal

szer nagyon pontatlan volt, és semmi másra nem volt alkalmas, minthogy katonai szolgálat a polgári légiforgalomnak a légifolyosóban való tartását ellenőrizhesse. 1965-ben már közel 30 000 polgári repülőgépet irányítottunk a magyar légtérben ebből mintegy 8 000 volt ferihegyi induló, 8 000 Ferihegyen leszálló és 14 000 átrepülő.” [2]

Eközben a polgári közeli körzeti irányítás korszerűbb berendezéseket kapott, többek között fejhallgatós mikrofonokat és az irányító helységet is felújították, átalakították, így az sokkal komfortosabbá vált. A folyamatos fejlesztéseknek hála évről évre nő a repülések és a megfordult típusok száma a Ferihegyi repülőtéren. Ekkorra már a belföldi járatok száma is jelentősen bővült. Később sajnos ez a szám igen lecsökkent, bezárt több vidéki repülőtér is, majd 1969-re az összes belföldi menetrend szerinti járatot megszüntették.

1969-re átadták a Szikla pincéjére épített többemeletes épületet, így a polgári távolkörzeti irányítás már ebben a létesítményben működött, egészen 1999-ig. 1969-ben megalakult a Magyar Légiforgalmi Irányítók Szövetsége, a HATCA, amelybe az útvonal, más néven távolkörzeti irányítók nem léphettek be [1].



11. ábra A Plessey AR-1-es lokátorának adóháza és antennája¹⁵

2.3. A dinamikus fejlődés, a '70-es évek

Az 1970-es években új, szélesebb légifolyosókat létesítettek a magyar légtérben, a 10 km szélességűeket felváltották a 20 km-esek. A budapesti közeli körzetet is bővítették, illetve újabb ki- és belépőpontokat is meghatároztak. A magyar irányítóknak ekkoriban azzal a problémával kellett megküzdeniük, hogy nem volt az egész világon egységes “repülési nyelv”, időszámítás és mértékegység rendszer. Irányítóink ebben az időben összesen három nyelven kommunikáltak a pilótákkal. A nemzetközi forgalommal angolul, a magyar katonákkal magyarul, a Varsó Szerződés repülő erőivel pedig oroszul. Három időszámítást alkalmaztak, a nemzetközi forgalomban greenwich-i időt, a magyar repülések során a közép-európai időt, helyi idővel, az akkori koalíciós partnerekkel pedig moszkvai idő szerint dolgoztak. Magyarország a

¹⁵ Forrás: Renner P: i.m. 73. oldal

repülésben hivatalosan a metrikus rendszert-, Nyugat-Európa az angolszász mértékegységet használt, magasság, távolság és sebességmérésben. A legnehezebb és egyben a legkevésbé biztonságos a magasságmeghatározás rendszere volt, míg a „nyugati” repülőgépek az ICAO repülési szint (Flight level – FL) rendszerét, addig a hazai és a szövetséges repülések a metrikus rendszert alkalmazták. A magyar irányítóknak ehhez kellett igazodniuk, azaz pillanatok alatt fejből kellett tudniuk átváltani a különböző mértékegységek között [5].

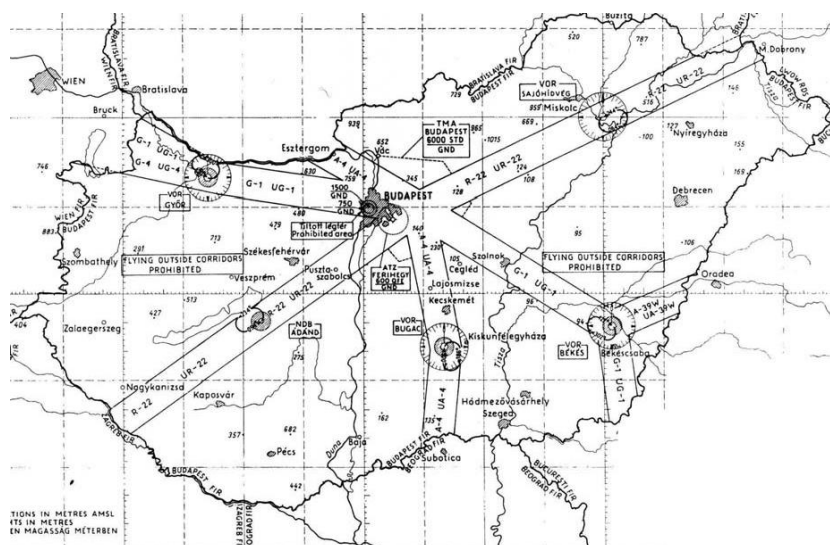
Magyarország 1969-ben hivatalosan csatlakozott az ICAO-hoz, így az 1970-es évek elején a magyar légiforgalmi irányításban megkezdődött az együttműködések kiszélesítése további tagállamokkal. Az első és talán legfontosabb momentum, hogy 1975-től a magyar légtérben már az egységesített ICAO mértékegység rendszert alkalmazták, az orosz nyelvet azonban továbbra is használták a magyar irányítók, egészen a rendszerváltásig.

Az ICAO csatlakozásunkkal fel kellett gyorsítani az előírások, dokumentációk honosítását, beleértve a személyzet szakszolgálati engedélyére vonatkozó előírásokat is.

Az 1970-es években, az egész világon, így Magyarországon is észrevehetően megnövekedett a nemzetközi légiforgalom járatsűrűsége. Emellett folyamatosan nőtt a repülőgépek utazósebessége és utas kapacitása. Annak érdekében, hogy a Ferihegyi repülőtér megőrizze újonnan szerzett népszerűségét és, hogy a kellő biztonságot továbbra is tudják garantálni, jelentős és azonnali korszerűsítésekbe kellett kezdeni több területen is. Ezekre megoldására egy bizottság¹⁶ ajánlásokat és javaslatokat fogalmazott meg a kormány részére, mivel megállapították, hogy repülésbiztonsági szempontból nem kielégítő a MALÉV műszaki és navigációs eszközei, berendezései, az jövőbeni tervei stb. A megfelelő utas kiszolgálás érdekében a repülőtéri fogadóépületet bővíteni kellett. A járatok számának és a repülőgépek méretének növekedése maga után vonta a futópálya és a gurulóutak megerősítését, valamint az előterek és hangárok bővítését. Sor került a repülésirányító és meteorológiai berendezések korszerűsítésére is. A forgalom növekedésével a repülőgépek elkülönítések fokozottan előtérbe került, így elengedhetlenné vált további útvonal navigációs eszközök és berendezések telepítése és fejlesztése. Ferihegyen többek között új ILS berendezést telepítettek mindkét pályairányra, új NDB és VOR állomásokat létesítettek, valamint 1976-ben telepítésre került a kőrishegy-, majd egy év múlva pedig a püspökladányi nagy hatótávolságú radarállomás. Ezek a berendezések napjainkban is ezeken a telepítési helyeken üzemelnek, bár mára fejlettebb típusra cserélték e berendezéseket.

A korábban említett vizsgálat szerint a munkahelyi légkör sem volt teljesen megfelelő, nagyobb fegyelemre volt szükség. A vezetésben egységes szemléletre, közös célokra és a feladatok minél hatékonyabb végrehajtására kell törekedni. A vizsgálat arra is rámutatott, hogy a légiközlekedésben dolgozó szakemberek utánpótlása és továbbképzése, típusátképzése nem volt még megoldva, beleértve a repülésirányítókat is. Ebben az időben a civil szakma már a Honvédségtől leszerelt szakemberekre sem számíthatott, hiszen a repülőmérnök és repülőgép szerelő technikus képzést ott is leállították. A hasonló polgári képzések viszont nem biztosították a kellő színvonalat. Ennek következtében az egész képzési rendszert át kellett szervezni. A személyzet, ezen belül a repülésirányítók kiválasztását és képzését is lassanként átalakították.

¹⁶ Zalka-bizottság



12. ábra Magyarország légifolyosói az 1970-es években¹⁷

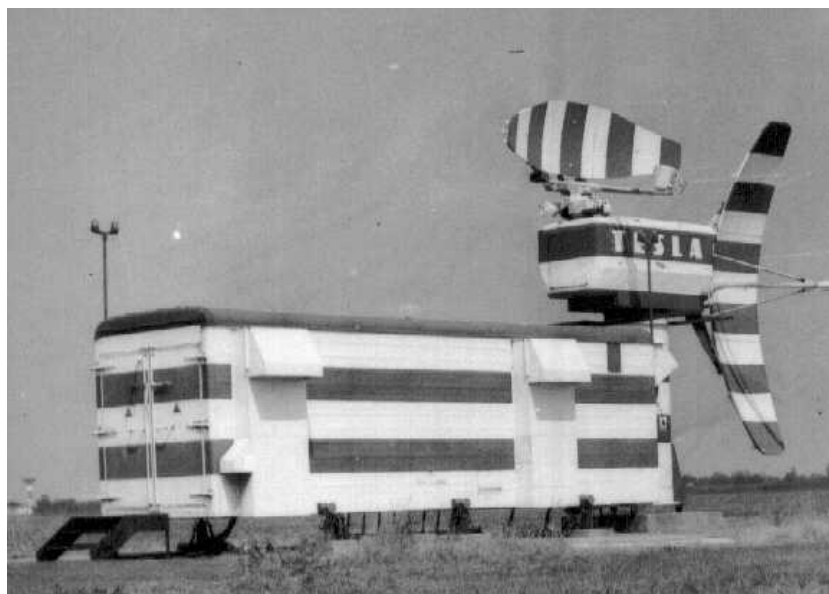
1973 januárjában megalakították a Légiforgalmi és Repülőtéri Igazgatóságot, az LRI-t. Ennek a szervezetnek a feladata a légiforgalmi szolgálatok ellátása, illetve a Ferihegyi Repülőtér fenntartása és üzemeltetése volt. Átszervezték a légiforgalmi szolgálatok ellátását az angliai továbbképzésen részt vett irányítók tapasztalatai alapján. 1975-ben Magyarország kiadta az új Légiforgalmi Tájékoztató kiadványát (Aeronautical Information Publication – AIP), nem sokkal később az első szabvány műszeres indulási (Standard Instrument Departure) térképek, valamint új szabvány műszeres megközelítési (Standard Arrival Route – STAR) eljárások is megjelentek.

1973 októberében indították az első, az ICAO Training Manual követelményein alapuló polgári légiforgalmi irányító tanfolyamot, mely 30 fővel indult. A kiválasztás során – az egészségügyi alkalmasság mellett – figyelembe vették az angol és az orosz nyelv ismeretét, valamint azt, hogy az irányító jelöltnek van-e valamilyen korábbi kapcsolata a repüléssel, mely a személyi elbeszélgetés során derült ki. Az oktatás során nagyobb hangsúlyt fektettek a váratlan- és vészhelyzetekben történő tevékenységek begyakorlására, melyekhez szimulátorokat alkalmaztak. Ezek segítségével kiküszöbölték azt, hogy a végzett repülésirányítók a gyakorlati képzésük az irányítói munkahelyen, valós irányítás közben történjék.

1974-ben telepítettek Ferihegyen egy új precíziós leszállító radarberendezést (Precision Approach Radar – PAR), aminek a kezelésére összesen 16 főt képeztek ki Prágában.

A tanfolyamon való részvétel előfeltétele volt, hogy az irányító bevezető radarirányítói szakaszolgalmi engedéllyel és meghatározott gyakorlati idővel rendelkezzen. Az oktatással tapasztalt cseh légiforgalmi irányítókat bízták meg. A magyar irányítóknak Csehországban korszerű radar szimulátor is a rendelkezésükre állt, valamint valós irányítást is gyakorolhattak. 1976-tól a magyar polgári légiforgalmi irányítók képzése a rigai Repülési Tanintézetben folyt és két és fél évig tartott. Évente 25–30 fő végzett, majd 1978-tól 1990-ig évi 15 fő.

¹⁷ Forrás: Renner P: i.m. 80. oldal



13. ábra TESLA cég PAR adóháza¹⁸

Azok, akik ezt a külföldi tanfolyamot végezték, egy 800 órás honosító tanfolyamon is részt kellett venniük, melyeken hazai szabályzatokat és eljárásokat tanulták meg. A honosító tanfolyam befejeztével az irányító jelöltek sikeresen megszerezték szakszolgálati engedélyüket és így elkezdheték gyakornoki szolgálatukat, mint légforgalmi irányító.

A MALÉV is teljes arculatváltáson esett át ebben az évtizedben. A meglévő repülőgépeket átfestették, de újak beszerzésére is sor került 11 darab új festésű Tu-154-est állítottak szolgálatba Ferihegyen. Ezek a repülőgépek légiforgalmi irányítói szempontból kifogástalan gépek voltak. Ezzel Magyarország hivatalosan is belépett a „jet-korszakba.” Ezek az évek a dinamikus fejlődés éveit jelentik a magyar repülés számára. Országunk több légügyi megállapodást is kötött ebben az időszakban. Ezeknek a szerződéseknek köszönhetően a MALÉV új menetrend szerinti járatokat indíthatott számos városba Európában és a Közel-Keletre is. Több távlati tervet is készültek ezekben az években, hiszen ez a rohamos fejlődése a repülésnek azt elengedhetlenné tette. Ezekhez a fejlesztésekhez a MALÉV jelentős állami támogatást kapott.

A katonai repülésirányításban is több, meghatározó változás történt. 1972-ben megalakították a Csapatrepülő Parancsnokságot. Új közelkörzeti és leszállító radarokat állítottak üzembe a repülőtereken, melyek a folyamatos működéstől gyakran meghibásodtak, így megbízhatóságuk alacsony szintű volt. A magyar katonai repülésirányításban az irányítói feladatkörök nem változtak, viszont 1973-tól a “Kiliánra” felvételt nyertek, már emelt szintű képzésben részesültek és üzemmérnöki, valamint általános iskolai tanári (polgári) oklevelet kaptak.

¹⁸ Forrás: Renner P: i.m. 862. oldal

3. A RENDSZERVÁLTÁSTÓL NAPJAINKIG

3.1 Felzárkózás az európai repülésirányításhoz

Az 1980-as évek elejére a terveket sikerült csaknem teljes mértékben véghezvinni, bár az új utas terminál, a Ferihegy 2, nem készült el a tervezett időre. 1980. október végén a Ferihegyi Közelkörzeti Radarirányító Központ új megjelenítő eszközöket (indikátorokat) kapott



14. ábra SZIGMA rendszer a bevezető irányítói munkateremben Ferihegyen, 1981-ben¹⁹

Csaknem egy időben az Útvonal-irányító Osztály szakemberei is elkezdhettek ugyanilyen típusú berendezéseken dolgozni. Ekkoriban fejezték be az új, második futópályát és a hozzá tartozó gurulóutakat. Következő év júliusában elkezdtek telepíteni az új futópályára a bevezető fényrendszer elemeit.

1983. augusztus 31-én szállt le az első engedéllyel rendelkező repülőgép az új futópályára, a MALÉV egyik Tu-154-es római járata. Egy új irányító torony is helyet kapott a futópályák mellett, melyet hivatalosan 1983 augusztusában adtak át. Az első gép, amelyet innen irányítottak, a MALÉV MA 881-es járata volt, amely 1983. augusztus 30-án este 8 óra után szállt le Ferihegyen.

1980-tól a polgári légiforgalmi irányítóknak főiskolai végzettséggel kellett rendelkezniük, így a rigai képzést követően az irányító jelöltek egy három féléves levelező képzésen vettek részt a győri Közlekedési és Távközlési Műszaki Főiskolán. A képzés után a végzett hallgatók légiforgalmi üzemmérnöki oklevelet kaptak. Az első három félévben csak elméleti tantárgyak szerepeltek az órarendben, ez a része az oktatásnak Győrben zajlott. Utána kezdődött a szimulátoros gyakorlati képzés a ferihegyi Légiforgalmi és Repülőtéri Igazgatóság Repülés Oktatási Központjában (LRI ROK). Az oktatók többéves tapasztalattal rendelkező aktív légiforgalmi irányítók voltak, akik szakoktatói tanúsítványt is szereztek. 1984-ben új ROK épület került átadásra, melyben az irányító jelöltek már egy új radar szimulátoron gyakorolhattak.

¹⁹ Forrás: Renner P: i.m. 682. oldal



15. ábra A Ferihegyi irányítótorony²⁰

Ekkoriban a katonai repülések száma csökkent, ám a vadászirányító képzés nem változott, a megszokott módon folytatódott. Szükség volt az utánpótlásra, hiszen akik már régóta a rendszerben voltak, vagy feljebb kerültek a ranglétrán, vagy kikerültek a rendszerből. A gyakorlati órák számát csökkentették, a gyakorlati képzés javára. Ehhez viszont nagy szükség volt egy szimulációs berendezésre. A Kilián György Repülőműszaki Főiskola szoros együttműködésben állt az LRI ROK-kal, így a vadászirányító képzésbe új tantárgyak kerültek be, mit a nemzetközi légi jog, a radar-irányítási eljárások és a légtérgazdálkodás tantárgyak. A képzés sokáig négy évig tartott, ám egy időben lecsökkentették 3 évre, de bebizonyosodott, hogy ennyi idő alatt szinte lehetetlen volt meg tanulni az elméletet és kellő gyakorlatot is szerezni. A végzett irányítók tudása nem volt az eddig megszokott színvonalon, így a képzési időtartamot a rendszerváltás után visszaállították.

1984-ben a Körzeti Irányító Központban megalakult a Repüléstájékoztató központ (Flight Information Centre – FIC), ami a kisméretű repülést számára ad nélkülözhetetlen információkkal.

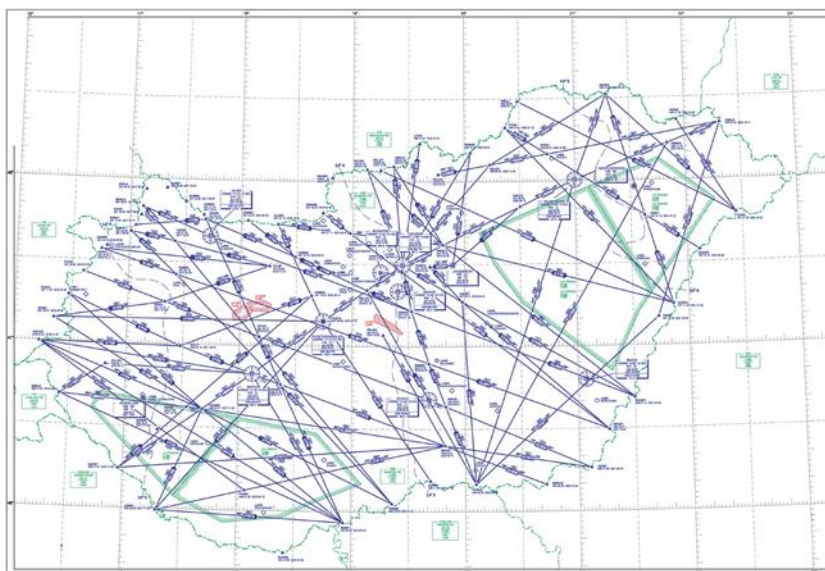
Az 1980-as évek második felében a fejlesztések továbbfolytatódtak Ferihegyen. Új hangárokat építettek, az útvonali-, közelkörzeti- és leszállító radarokat is fejlesztették vagy új típusokat telepítettek, továbbépítették a 2-es Terminált, és a régi futópályát is felújították. Az új radarok telepítésének következtében a civil és a katonai repülésirányítás szorosan együttműködött, ami a repülésbiztonságnak rendkívüli módon kedvezett. 1985 októberére elkészült a 2-es Terminál, 1987-ben a precíziós megközelítési pályajelző (Precision Approach Path Indicator – PAPI) rendszert telepítették. Budapest ACC-ben ekkor már három irányítói szektor működött, a Kelet (East), a Nyugat (West) és a Dél (South) irányítói szektorok. A légitforgalmi irányítók száma folyamatosan növekedett. A korábban már említett felsőoktatási változtatásoknak kö-

²⁰ Forrás: http://www.airports-worldwide.com/img/w/ferihegy_tower_budapest_lhbp.jpg

szönhetően a számuk több mint 200 volt. Kijelenthető, hogy az 1980-as évek a fejlesztései kiemelkedők voltak mind műszaki-, mind a személyi állományt érintően a magyar légiközlekedés fejlődésére. Ezekkel a fejlesztésekkel Magyarország felkészült az elkövetkező évek megnövekedett légiforgalmára.

4. A RENDSZERVÁLTÁSTÓL NAPJAINKIG

A rendszerváltás után, az 1990-es évek elején elkezdődtek a tárgyalások a légtérszerkezet átalakításáról a Légügyi Főosztály és a Magyar Honvédség Repülő Főnöksége között. A változtatásra azért akkoriban került sor, mert a polgári légiforgalom jelenősen nőtt, viszont a szovjet csapatok kivonulása maga után vonta Magyar Honvédség átalakítását és a katonai repülőgépek, repülőgép típusok, repülőterek és a – magyar légtérben – repült órák számának jelentős csökkenését. Ennek következtében a nemzetközi forgalmat nem kellett 20 km széles légifolyosókba szorítani és magassági korlátokat szabni rájuk.



16. ábra Magyarország magaslégtéri útvonalterképe²¹

A katonai repülés háttérbe szorult a polgárral szemben. Egy munkacsoportot állítottak fel, aminek a légtér igénybevételek új szabályozását kellett – a törvényeknek eleget téve – meghatározni. A komoly munka meghozta gyümölcsét, nem sokkal később, 1992-ben – az új ICAO légtérsztályozás bevezetésével egyszerre – megszületett a 20. sz. Együttes Légügyi Előírás, amely a 2000-ig érvényben maradt.²² A Honvédségen belül elkezdődött a nagy lépitések időszaka mind műszaki-technikai területen, mind létszám tekintetében. A Kilián György Repülő Tiszti Főiskolát átnevezték Szolnoki Repülő-tiszti Főiskolára.

1991-ben országunk csatlakozott az Európai Polgári Repülési Konferencia (European Civil Aviation Conference – ECAC) szervezetébe. Ezzel megalapoztuk a későbbi EUROCONTROL (Európai Szervezet a Légiközlekedés Biztonságáért) és az Egyesült Légügyi Hatóság

²¹ Forrás: HungaroControl, Légiforgalmi Tájékoztató Kiadvány 2011

²² Felváltotta a 14/2000-es KöViM rendeletet.

(Joint Aviation Authorities – JAA) tagságunkat is. Erre nem sokat kellett várni, ugyanis 1992 júliusában Magyarország az EUROCONTROL tagja lett.

Ugyanebben az évben elkezdődött a NATO AWACS gépeinek felderítő repülése a Balaton felett a balkáni háború kitörésének következtében. A magyar ACC irányítóknak ez sok gondot okozott, ám a civil és katonai szolgálatok mindvégig szoros koordinációt folytattak. Az Öböl-válság alatt is jelentősen megnövekedett a katonai forgalom a magyar légtérben. Ekkor a civil irányítás már közvetlenül Veszprémmel állt összeköttetésben a repülési tervekkel, valamint a radar adatok átadásával kapcsolatban. Ekkor állították rendszerbe a MiG-29-es vadászpülőgépeket, így a katonai repülésirányítókat már úgy képezték, hogy meg tudjanak felelni a típus támasztotta követelményeknek.



17. ábra Felszálló NATO légi főlény szürke Mig-29 géppár²³

A magyar légtér szerkezet tehát 1992-re teljesen átalakult, a katonai repülésnek pedig alkalmazkodnia kellett a polgári repülésekhez. Ez azt jelentette, hogy – az ICAO szabályok átvételén kívül – a rádiókommunikációt is angol nyelven kellett folytatni. Több rendszert és technikai berendezést is lecseréltek a Honvédségnél, részben a NATO, részben az ICAO követelményeknek való megfelelés miatt. A repülőgépeket és a helikoptereket fedélzeti válaszcélzóval látták el, 1994-re befejezték az idegen-barát felismerő rendszer (Identification Friend or Foe –IFF) lokátorainak telepítését az ország négy helyszínén. A civil és a katonai irányítás között a korábban is szorosabb koordináció került megszervezésre. A katonai repülések számára biztosítani kellett a szükséges légteret. Amennyiben harci-, illetve útvonal irányításra került sor, a NATO alárendeltségű Veszprémi Légi Irányító Központ (Control and Reporting Center – CRC) vadászirányítói feleltek a NATO szabályoknak megfelelő repülések végrehajtásért. A katonai repülőtéren, más néven légiforgalmi irányítók ekkor már kizárólag a katonai repülőtéren irányítói körzetben (Military Control Zone – MCTR-ben), illetve a közelkörzetben irányítottak.

A katonai repülésirányító képzés 1996-tól már a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Szolnoki Repülőtiszt Főiskolai Karán, majd nem sokkal később a ZMNE Repülőtiszt Intézetében folytatódott, ahol a két szakirányra tagolódott; a légiforgalmi irányító és a vadászirányító szakirányra. 2000-ben rendszerbe állították a LETVIS repülésirányító szimulátort, amely abban a korban technikailag rendkívül modernnek számított. A rendszer megjelenítőin valamennyi

²³ Forrás: http://www.mh59.hu/rovatok/hu/hirek/mig-29_bucsurepules/dsc01570.jpg

olyan adat fellelhető, amely valós körülmények között, reális irányítási helyzetekben is látható, így ezen a berendezésen szinte valós körülmények között gyakorolhattak az irányító jelöltek.

1995-ben megkezdődnek a Ferihegyi repülőtér mellé tervezett új ATS épület építési munkálatai. 1996-ban át is adják az épületet, de Budapest ACC csak 1999. december 20-án kezdi meg ott a működését, hiszen az irányítástechnikai berendezések csak az átadás után kerültek telepítésre. Ez lett a BLIK, a Budapesti Légiforgalmi Irányító Központ, amely az Igló utcában kapott helyet és a mai napig is ott működik. Ez egy mérföldkő volt a magyar repülésirányítás történetében, hiszen ettől kezdve már egy helyen végezheték munkájukat az ACC és az Approach radarirányítói, valamint a FIC repüléstájékoztatói. A BLIK egy fejlett, európai színvonalú integrált légiforgalmi irányító központ lett és a folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően a mai napig az maradt.

1999-ben a balkáni háború miatt ismét jelentős mértékben megnőtt a katonai forgalom az ország légterében. A magyar légternek több mint a felét katonai célokra kellett átadni a NATO részére. Ebben az évben nyertünk felvételt a NATO-ba. Ezért is volt olyan fontos, hogy a Honvédség az elmúlt évek fejlesztéseit minél hamarabb végre tudja hajtani. NATO csatlakozásunkkal a katonai repülésirányítók – a hajózó állománnyal együtt – lehetőséget kaptak több külföldi tanfolyamon való részvételre. Az Egyesített Repülésirányító Központ (EREF) megszűnésével 2000 júliusában a Budai Szikla teljes mértékben visszakerült a Magyar Honvédség tulajdonába.

1994-ben új légiforgalmi irányító rendszer tendert írtak ki, majd a következő évben meg is kezdődött az ún. MATIAS rendszer (Magyar Automated and Integrated Air Traffic System) kialakítása. A rendszer számtalan, hasznos információt képes egyidőben biztosítani az irányítónak, többek között útvonaltartás- ellenőrzés, engedélyezett magasságtól való eltérés miatti riasztás, rövid- és középtávú konfliktuskutatás stb., mellyel nagymértékben megkönnyíti a munkájukat.



18. ábra 2004-ben átadott ANS II a HungaroControl székhelye²⁴

2002-ben az LRI megszűnésével megalakult jogutódja, a Budapest Airport Rt. – később Zrt. – és a HungaroControl Zrt., a Magyar Légiforgalmi Szolgálat (HC). A HungaroControl a légi forgalom irányításáért, a Budapest Airport pedig a repülőtér üzemeltetéséért felelt. Annak érdekében, hogy a civil légiforgalmi irányító utánpótlás a lehető legjobb felkészítésben része-

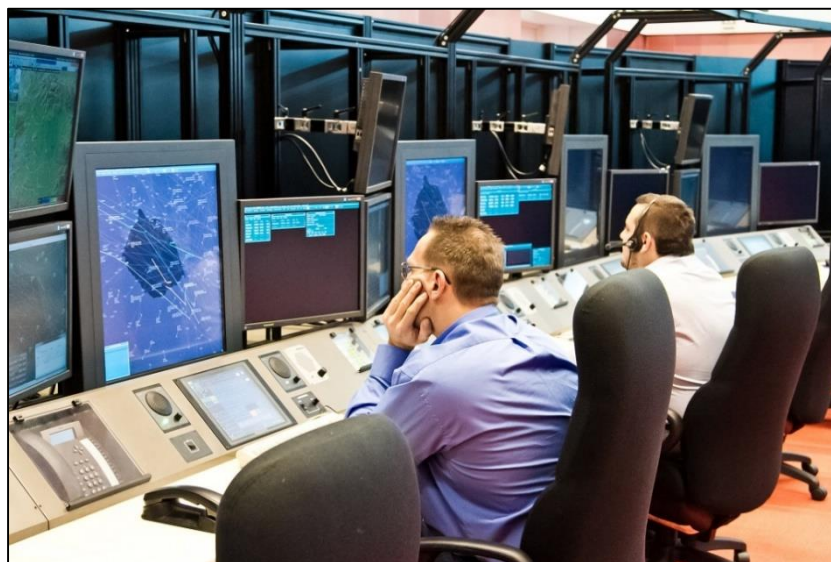
²⁴ Forrás: http://pctrs.network.hu/clubblogpicture/1/8/_/188557_455251358_big.jpg

süljön, 2009-ben átadták a 3D torony szimulátort a HungaroControl épületében, amely azóta is folyamatos fejlesztések alatt áll.

2012-től a katonai repülésirányítók képzése – több szervezeti változás követően – a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Karán, annak Katonai Repülő Intézetében folyik.

A befejező gondolatok megírásakor 2015-et írunk. Kijelenthető, hogy hazánkban a légiközlekedés az európai légtér egységesítési folyamatában vezető szerepet vállal. A hazai légiforgalmi szolgáltató, a HungaroControl e fejlődésnek, valamint a szolgáltatók és nemzetek közötti együttműködésnek a lehetőségeit keresi és kezdeményezi, azokban szakértelmére alapozva a magyar légiközlekedés és az európai állampolgárok számára valódi hozzáadott értéket kíván teremteni. A HungaroControl működése során a repülésbiztonság megfelelő szintjének szavatolása feltétlen elsőbbséget élvez a kereskedelmi, üzemeltetési, környezeti, illetve társadalmi szempontokkal szemben, ennek megfelelően a HungaroControl számára a légiforgalom biztonságos áramlásának megteremtése és fenntartása szakmai és etikai szempontból alapvető fontosságú stratégiai cél.

Az európai légiközlekedési rendszer működését továbbra is az „Egységes Európai Égbolt” program, illetve elemi tényezője, a funkcionális légtérblokk koncepció határozza meg, amely a léginavigációs szolgáltatók közötti együttműködés fokozásán keresztül a szolgáltatók hatékonyságát, színvonalának javítását és a költségek csökkentését kívánja presszionálni. A Társaság stratégiai célja intézményi kötöttségek nélküli, közös érdek mentén, hatékony, a piaci folyamatokon alapuló, pozitív hozzáadott értékkel rendelkező két- vagy többoldalú együttműködések kialakítása. A HungaroControl olyan világszínvonalú szolgáltatásokat valósított meg az elmúlt néhány évben méltán elismerést váltanak ki a társintézményektől.



19. ábra A HungaroControl új Légiforgalmi Irányító Központja²⁵

Ezek közé sorolható az Európai térségben egyedülálló a Koszovó feletti magas légtérben megvalósított légiforgalmi irányítás. 2014. április 3-tól Koszovó feletti magas légtérben, a HungaroControl évente hozzávetőleg 180 ezer repülést irányít majd 6100 méter felett, így a 15 évvel

²⁵ Forrás: http://iho.hu/img/repules_13_04/130412_hc_epc/IMG_3215.jpg

ezelőtt lezárt légtér újbóli használata révén mintegy 370 000 tengeri mérfölddel (kb. 685 000 km) csökkenhet az európai légi útvonalak hossza. A rövidebb lerepült távolságoknak köszönhetően – az EUROCONTROL adatai szerint – évi mintegy 24 000 tonnával csökkenthető az üzemanyag felhasználása, ezzel a légitársaságok éves szinten közel 18 millió euró költséget takaríthatnak meg. Jelentős mértékben, évente közel 75 ezer tonnával mérséklődhet a széndioxid kibocsátás is. Emellett a projekt kiemelkedő lehetőséget biztosít szakmai és technológiai oldalról a tapasztalatszerzésre és a kapacitások kihasználására, nemzetközi szinten történő összehangolására, és elősegíti az Egységes Európai Égbolt (SES) program megvalósítását.

2015. február 5-től Európában elsőként a HungaroControl törölte el a teljes légi útvonalhálózatot, ezzel lehetővé tette a repülőgépek korlátozások nélküli, szabad légtérhasználatát. Az új forgalomszervezési elképzelés (Hungarian Free Route, HUFRA) lényege, hogy Magyarország légterében a ki- és belépőpontok között a lehető legrövidebb egyeneseken közlekedhetnek a repülőgépek. Szakértők szerint ezzel a megoldással a hazánk felett átrepülő járatok útvonala egy év alatt összesen csaknem 1,5 millió kilométerrel csökkenhet, így a légitársaságok mintegy 3 millió dollár értékű üzemanyagot takaríthatnak meg, és több mint 16 millió kilogrammal kevesebb szén-dioxid kerülhet a levegőbe.

A HungaroControl egyik nagyszabású műszaki-technológiai fejlesztési projektje a hazai világszínvonalú MATIAS rendszer új digitális összeköttetést biztosító kommunikációs csatornával, irányító-pilóta adatkapcsolattal (Controller Pilot Data Link Communication – CPDLC) való bővítése. Ezt 2015. november végén, közel fél éves tesztidőszak után, az európai integrációs követelményeket mintegy három évvel megelőzve kezdte meg az éles működést.

Jelenleg az állami célú légiközlekedésben a katonai repülések irányítása, mind a katonai légiforgalmi- mind a légvédelmi célú repülések irányítása szempontjából elismerésre méltó eredményekkel büszkélkedhetnek. Az elmúlt években, úgy hazai, mind NATO forrásokból jelentős fejlesztések valósultak meg mindkét területen.



20. ábra A veszprémi Légi Irányító Központ vezetési terme²⁶

A légvédelmi célú repülések irányítását – a NATO integrált légvédelmi rendszer elemeként – a MH Légi Vezetési és Irányítási Központ Légi Irányító Központjából hajtják végre (MH LVIK LIK) a légvédelmi-, vagy más szóval vadászirányítók.

²⁶ Forrás: http://www.jetfly.hu/rovatok/jetfly/hirek/egy_alfa-riasztas_margojara/alfa3.jpg

A légi vezetési és irányítási rendszer alapelemét az elmúlt 10 évben átadott békéscsabai, bánkúti és medinai RAT-31 DL típusú 3D-s radar berendezések biztosítják. NATO csatlakozásunk óta a veszprémi és a kecskeméti vadászirányítók a munkájukat olyan eszközök segítségével végezték, melyeket a világ legmodernebb és legbiztonságosabb – légi vezetési, légtérellenző, légi helyzetkép előállító, légvédelmi irányító stb.– katonai rendszerei között tartanak számon. Ezek közé tartozik a korábbi évek ASOC, MASE, ICC vagy a NATO Link-16 és a hadrendbe állítás előtt álló NATO ACCS rendszerek is. Az MH LVİK irányító állománya nap-, mint nap bizonyítja magas szintű szakmai felkészültségét hazai környezetben a légtér-szuverenitáshoz kapcsolódó gyakorló- vagy valós készütségi repülések irányítása során, mint ahogyan teszik ezt különböző NATO beosztásokat ellátó társaik a szövetség valamelyik légi vezetési és irányítási központjában, vagy akár a NATO AWACS repülőgépek valamelyikének fedélzetén.

A Magyar Honvédség kötelékében a MH 59. Szentgyörgyi Dezső Repülőbázison, a MH Pápa Bázisrepülőtéren, valamint a MH 86. Szolnok Helikopterbázison teljesítenek szolgálatot katonai légiforgalmi irányítók. Az elmúlt évek ezen a szakterületen is meghatározó változásokat hoztak, melyek mindegyike a repülésbiztonság szintjének növelését eredményezte. A katonai repülőterek NATO és ICAO kompatibilitását nagymértékben meghatározzák a nyújtott légiforgalmi szolgáltatások. A változás a légiforgalmi irányítók képzésével kezdődött, akik megszerzett szakmai ismereteiket nem csak a hazai, hanem sok esetben, NATO küldetéseknél is kamatoztatták. Fontos és folyamatban lévő eleme a képességnövelésnek a repülőterek modernizálása, mely során új rádió-, rádió navigációs-, rádiólokációs és fénytechnikai eszközök rendszeresítése történt meg. Felújításra kerültek a repülőtéren irányító tornyok, új hardvert és szoftvert kaptak az irányítók, lecserélésre kerültek a kommunikációs rádió berendezések is. Ezzel a munkakörülmények még elfogadhatóbb szintre kerültek. A jogszabályi harmonizáció kapcsán, új jogszabályok jelentek meg. Kiadásra került a Magyar Katonai Légiforgalmi Tájékoztató Kiadvány és sok más a légiforgalmi szolgáltatások működését meghatározó, helyi eljárásrend is. Napjainkban előtérbe került a katonai repülőterek kettős hasznosításának (katonai és civil) kérdése is. Ezzel kapcsolatban elmondható, hogy a repülőterek meghatározó légiforgalmi irányítói képesség (nemzetközi színvonalú szakmai tudás, irányítói jártasság, felkészültség) szempontjából megfelelnek a polgári légiforgalommal szembeni elvárásoknak is. A közös hasznosításnak jelenleg inkább technikai, néhány esetben technológiai hiányai vannak.

5. BEFEJEZÉS

Áttekintve a polgári légiforgalmi- és a katonai (légiforgalmi és légvédelmi) repülésirányítás jelenlegi, 2015-ös helyzetét, kijelenthető, hogy magas szintű szakmai- elméleti felkészültséggel rendelkező, nagy gyakorlati tapasztalattal bíró, motivált szakemberek alkotják ezt a közösséget. Magyarországon ezen a területen alkalmazott repülésirányítói infrastruktúra viszonylag fejlett, néhány területen világszínvonalú. A repülésirányítók repülésben betöltött szerepe meghatározó a feladatok végrehajtásban és a repülésbiztonságban egyaránt. A két (civil-katonai) szakterület példa értékű, igen magas színvonalú (stratégiai és operatív) együttműködést valósít meg légiközlekedés területén.

2016-ban ünnepeljük a Magyar repülésirányítás 100 éves centenáriumát. Végigtekintve ezen az időszakon kijelenthető, hogy a területen mindenkor meghatározó volt a magas szintű

szakmai felkészültség, az egyes korokban alkalmazott modern rendszerek, berendezések felhasználása és új technológiák, eljárások alkalmazása. A folyamatos fejlődést esetenként meg, megszakították sajnálatos események; háborúk, fegyveres cselekmények, pénzügyi-gazdasági válságok, de ezektől eltekintve a magyar repülésirányítás büszke lehet a múltjára, a jelenére, ezekkel felvértezve bátran nézhet a jövő kihívásaival szembe.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] RENNER PÉTER: Fejezetek a magyar légiforgalmi irányítás történetéből 1916-2000., Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Technika-, Mérnök- és Tudománytörténet Doktori Iskola, Budapest, 2007, <https://repozitorium.omikk.bme.hu/bitstream/handle/10890/619/ertekezes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [2] DR. MOYS PÉTER: A légiforgalmi irányítás története, <http://iranyitokepzes.hungarocontrol.hu/erdekessegek/a-legiforgalmi-iranyitas-tortenete>, (2015. június 15)
- [3] KUNÁR GYÖRGY – MOYS PÉTER: Repülőtéri csendőrség a két világháború között, MRT Konferencia kiadvány 2005, <http://docplayer.hu/639342-Kunar-gyorgy-moys-peter-repuloteri-csendorseg-a-ket-vilaghaboru-kozott.html>, (2015. június 15)
- [4] DR. MOYS PÉTER – DR. NÉMETH MIKLÓS EZREDES: A magyar polgári légiforgalmi irányítás és a katonai repülésirányítás és képzés története, BMGE Közlekedésmérnöki Kar kiadványa Bp. 2003
- [5] HORVÁTH DÓRA: A polgári és a katonai repülésirányító képzések összehasonlító elemzése, Szakdolgozat, NKE Szolnok 2014
- [6] KOVÁCS ATTILA: A magyar repülésirányítás fejlődése Magyarországon, Szakdolgozat, ZMNE Szolnok 2008
- [7] SZTRUNGA ERZSÉBET: Az Európai Unió légtérátalakítási folyamatának térbeli aspektusai, Modern geográfia, 2013/III. pp. 29-48. ISSN: 2062-1655, http://www.moderngeografia.eu/wp-content/uploads/2013/11/2013_III_03_sztrunga.pdf
- [8] HUNGAROCNTROL sajtóhírek, <http://www.hungarocontrol.hu/sajtoszoba/hirek>

100 years of Air Traffic Control in Hungary

World War I accelerated development of aviation technology, aircraft manufacturing and pilot training. People were beginning to realize that unless the means were developed to ground control of airplanes, they would crash into each other just as the first automobiles had. The task of the air traffic control to provide separation between aircrafts and assist their safe and continuous flight. The author presents the development of the Hungarian air traffic control from the beginning to the present day, showing the major events and the technical equipment and the training system of air traffic controllers.

Keywords: *History of air traffic services, air traffic control, airport, radar*

Dr. PALIK Máttyás
alezredes, egyetemi docens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
palik.matyas@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-2304-372X

PALIK Máttyás, PhD
Lieutenant Colonel, Associate Professor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
palik.matyas@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-2304-372X



<http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2016.pdf>

