



REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

Kiemelt közlemények

BÉKÉSI BERTOLD, SERES JÓZSEF:
Drónok alkalmazásának lehetőségei

VARGA BÉLA:
Katonai helikopterek múltja, jelene és jövője

DUDÁS ZOLTÁN, UJVÁRI BENCE:
A drónelhárítás módszerei és lehetőségei

32. évf. (2020)
3. szám

HU ISSN 1417-0604 (nyomtatott)
HU ISSN 1789-770X (elektronikus)



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

Repüléstudományi Közlemények

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar tudományos kiadványa

Elektronikus kiadás
HU ISSN 1789-770X

Nyomtatott kiadás
HU ISSN 1417-0604

A szerkesztőbizottság elnöke

Prof. Dr. Óvári Gyula (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

A szerkesztőbizottság tagjai

Dr. Dunai Pál (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Bottyán Zsolt (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Kavás László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Makkay Imre (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Pokorádi László (Óbudai Egyetem)
Dr.h.c. doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD., MBA, LL.M. (Kassai Műszaki Egyetem, Szlovákia)
Dr. Palik Mátyás (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Szabolcsi Róbert (Óbudai Egyetem)
Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Főszerkesztő

Dr. Békési Bertold (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Szerkesztőség

Dr. Békési Bertold (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) főszerkesztő
Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) szerkesztő
Törőcsik Tímea (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) szerkesztőségi titkár
Szerkesztőség címe: 5008 Szolnok, Kilián út 1.
Levelezési címe: 5008 Szolnok, Pf. 1.
e-mail: RepTudKozl@uni-nke.hu

Kiadó

Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Ludovika Egyetemi Kiadó Iroda
1083 Budapest, Ludovika tér 2.
kiadvanyok@uni-nke.hu • +36 1 432 9000

A kiadásért felel: Koltay András rektor

Borítókép: a képet Kővári László (jetplanes.blog.hu) készítette



Tartalom

Békési Bertold – Seres József: Drónok alkalmazásának lehetőségei	5
Varga Béla: Katonai helikopterek múltja, jelene és jövője	21
Szalkai István – Ercsey Tamás Zsolt – Szép Károly: A pilóta nélküli légi járművek jövőbeli alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata	39
Dudás Zoltán: A leggyakoribb hibák a légi közlekedésben – A Pizkos Tizenkettő	51
Szücs Péter: Gondolatok a légierő szervezeti és katonai vezetői kultúrájáról a Magyar Honvédségben.	61
Barta Gábor – Varga Béla: Az Arriel 2E turboshaft hajtómű termikus elemzése	69
Makkay Imre – Takács Sándor – Willand Péter: Meteorológiai szenzorok alkalmazása a kisgépes repülésben	83
Sári János – Beneda Károly – Kavás László: Repülőgép-hajtóművek égésterének áramlástani vizsgálata számítógépes szimulációban	93
Novoszáth Péter – Szilágyi Balázs: A tengerentúli járatok jelentősége a közép- európai regionális repülőterek fejlesztésében	105
Fülek András: Gondolatok a repülőgép-vezetőket érő pszichés terhelések háttéréről . .	125
Dudás Zoltán – Ujvári Bence: A drónelhárítás módszerei és lehetőségei	135
Békési Bertold – Gajdács László – Sári János: Repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer	143



Békési Bertold¹ – Seres József²

Drónok alkalmazásának lehetőségei

A cikkben a szerzők bemutatják a drónok alkalmazásának lehetőségeit. Rövid bevezetést követően, a pilóta nélküli légi járművekkel és légijármű-rendszerekkel foglalkozunk, majd ezt követően a drónok fejlődését, alkalmazási területeit, felhasználásukat és a jövőbeni lehetőségeiket taglaljuk.

Kulcsszavak: UAV, UAS, szenzorok, Follow Me technológia, felismeréstechnológia

Possibilities of Applying Drones

In this article the authors introduce the possibilities of applying drones. After a short introduction, we will deal with unmanned aerial vehicles and aircraft systems, and then we will discuss the development of drones, their areas of application, their uses and future possibilities.

Keywords: UAV, UAS, sensors, Follow Me technology, Recognition technology

1. Bevezetés

„A pilóta nélküli légi járművek, olyan fejlettségi szintet értek el, hogy bizonyos feladatokat hatékonyabban képesek végrehajtani, mint a hagyományos repülőgépek. Napi rendszerességgel találkozhatunk ezekről az eszközökről szóló tudósításokkal, ezek azonban nem korlátozódnak csak a katonai területre, egyéb területeken is kulcsszerepet játszanak. A feladatok jellegét tekintve ez lehet akár egy szennyezett területről származó információszerzés vagy katasztrófák felderítése, ahol a terület megközelíthetősége korlátozott, amely nagy idővesztéssel jár. A fejlődésüket és felhasználási lehetőségeiket figyelembe véve felmerül a kérdés, hogy ez a fejlődés hová vezethet. Az ember vezette repülőeszközöktől nem sokban térnek el. Repülésüket végrehajthatják ön- vagy távirányítással, de leggyakrabban a kettő kombinációját alkalmazzák. Nemzetközi és hazai szervezetek úgynevezett tudományos klasztereket hoznak létre, amelyekbe oktatási intézmények, tudományos kutató műhelyek is bekapcsolódnak, ezáltal elősegítve a fejlődést.”³

¹ Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék, e-mail: bekesi.bertold@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5709-789X>

² BSc-hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék, e-mail: huserri95@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2549-3270>

³ Seres József: *Mikrokontrollerek alkalmazásának lehetőségei pilóta nélküli légijárműveken*. Szakdolgozat, 2020.

2. Drónok napjainkban

A pilóta nélküli légi járművek (UAV), légi robotok, drónok – bármilyen névvel is illetjük ezeket az eszközöket, kétségtelen, hogy az elmúlt évek során elképesztő ütemben nőtt a népszerűségük.⁴

A kereskedelmi felhasználás széles körű elterjedését eddig akadályozták a magas árak és a technikai fejletlenség.⁵ Mára nemcsak a fogyasztói piacot hódították meg, hanem számos ipari szektort is forradalmasítottak, ami kevés technológiára igaz.⁶ Azonban egyre több cég fektet és fektetett pénzt a technológia fejlesztésébe, így a kereskedelmi célú drónok egyre több ember és szolgáltató számára válik elérhetővé.⁷ Egyre több helyen alkalmazzák őket, olyan egyszerű hétköznapi feladatok ellátására is, mint gyors csomagkézbesítés, légi kár felmérés, eltűnt személyek keresése vagy akár tudományos projektek.⁸ Tehát a biztonságtechnikai cégektől, a mezőgazdaságon át az ételszállítókig egyre több cég alkalmazza ezeket az eszközöket.⁹

A drónok nemcsak hatékonyak, hanem olcsóbban, gyorsabban és – ami a legfontosabb – biztonságosabban is képesek olyan feladatok elvégzésére, amelyekhez egyébként szakképzett munkaerőre lenne szükség, vagy amelyek veszélyt jelentenének a munkásokra.¹⁰

A Goldman Sachs által 2017-ben publikált tanulmány szerint, amelynek címe Drones: Reporting for Work, a 2017-es évben közel 170 ezer kereskedelmi célú drónt vásároltak. Ez 58%-os növekedést jelentett a 2016-os évhez képest. Ezenkívül, előrejelzéseik szerint a vállalkozások és a civil kormányok körülbelül 13 milliárd dollárt fognak fordítani kereskedelmi célú drónok beszerzésére 2016 és 2020 között.¹¹ A BI Intelligence, a Business Insider prémium kutatói részlege szerint a dróneladások értéke 2021-re akár a 12 milliárd dollárt is elérheti, amelyeknek jelentős részét képezik majd videózásra, fényképezésre és szabadidős tevékenységekre szánt fogyasztói drónok. Ugyanakkor a becslések szerint a fogyasztók az elkövetkezendő években közel 17 milliárd dollárnyi összeget költenek majd drónokra.¹²

2.1. Az UAV- és az UAS-rendszer

A pilóta nélküli légi járművek (UAV),¹³ és légijármű-rendszerek (UAS)¹⁴ tervezésének, földi- és légi üzemeltetésének kulcskérdése a repülésbiztonság és a biztonság általában. A fegyverkezési verseny egyik robbanásszerűen fejlődő haditechnikai eszköze a pilóta nélküli légi jármű, amelyek működésüket tekintve összetettek, a katonai műszaki tudományok vívmányait egyesítik magukban. Ahogy a technológia fejlődik, a drónok gyorsan veszik át azokat a feladatokat, amelyek megoldása ez idáig közvetlen emberi beavatkozással működtetett gépeké voltak. A drón egy olyan távirányítható légi járművet (repülni képes eszközt) jelent, amelynek

⁴ A dróntechnológia múltja és jelene, jövője. Dronexpert. é. n.

⁵ Trencsányi Attila: *Életmentő drónok; a pilóta nélküli repülő robotok felhasználási lehetőségei az egészségügyben, különös tekintettel a sürgősségi vérszállításra*. Szakdolgozat, Szeged, 2019.

⁶ A dróntechnológia múltja és jelene, jövője. (é. n.) i. m.

⁷ Trencsányi (2019) i. m.

⁸ A dróntechnológia múltja és jelene, jövője. (é. n.) i. m.

⁹ Trencsányi (2019) i. m.

¹⁰ A dróntechnológia múltja és jelene, jövője. (é. n.) i. m.

¹¹ Goldman Sachs Research: *Drones – Reporting for Work*.

¹² A dróntechnológia múltja és jelene, jövője. (é. n.) i. m.

¹³ Unmanned Aerial Vehicle.

¹⁴ Unmanned Aircraft System.

a fedélzetén nincs irányító ember, azaz „pilóta”.¹⁵ A Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság szerint az UAV egy „olyan légitánc, mely légtérben való közlekedését fedélzetén tartózkodó gépszemélyzet nélkül, földi irányítás mellett vagy autonóm módon végzi”.¹⁶

A repülőeszközök (a légitánc-vezetők feladatait), így a pilóta nélküli légitáncok irányítását automatikus szabályozó MIMO¹⁷-berendezések segítik, vagy veszik át teljes mértékben. A repülőszabályozó rendszerek működéséhez alapvető követelmény a repülőgépek térbeli mozgását leíró jellemzők/paraméterek időbeli változásának folyamatos rendelkezésre állása. Fejlesztésük eredményeként az alkalmazásuk terjedése folyamatos és napjainkban egyre inkább kézzelfogható a megjelenésükkel okozott hatás.¹⁸

A pilóta nélküli légitáncok felépítésükben, működésükben csaknem azonosak az ember által vezetett repülőgépekkel, helikopterekkel.¹⁹ Az 1. ábra egy „drón” szerkezeti felépítését szemlélteti. Felépítésük szerint megkülönböztetünk merevszárnyú, illetve forgószárnyas típusokat. A merevszárnyú modell kialakítása megfelel a repülőgépekének, ahol a felhajtóerő a levegőbe emelkedve az előre haladó szárnyakon keletkezik. Ami a forgószárnyas csoportba tartozókat illeti, működési elvük megegyezik a helikopterekével, tehát az alkalmazott forgószárnylapátok – mint szárnyak – forgás következtében termelnek szükséges felhajtóerőt.²⁰

Ezen UAV-k repülésméleti alapjaival, ezen belül az áramlástan alaptörvényeivel, az aerodinamikai erőkkel és jellemzőkkel, valamint a véges szárnyak elméletével Békési László *A pilóta nélküli légitáncokkal kapcsolatos alapismeretek*²¹ című műve foglalkozik részletesebben.

A pilóta nélküli légitáncok csoportosítása lehetséges még a szárnyak, vezérsíkok elhelyezkedése és száma szerint, a repülőszerkezet törzse vagy futóművének kialakítása szerint. A fel- és leszállás módja alapján megkülönböztetünk vízszintesen (HTOL),²² függőlegesen felszállót (VTOL)²³ és ezek kombinációját.²⁴

Természetesen a kiegészítők színes tárháza áll rendelkezésünkre. Jelen munkánkban a drónok csoportosításával nem kívánunk foglalkozni, ezekről részletesebben a Drónok csoportosítása²⁵ és Békési László²⁶ értekeznek, valamint a pilóta nélküli légitáncokkal kapcsolatos

¹⁵ *Mi az a Drón.* Drónpilóták Országos Egyesülete, é. n.; Békési László: A pilóta nélküli légitáncokkal kapcsolatos alapismeretek. *Repüléstudományi Közlemények*, (2016), 3. 159–176.; Békési Bertold – Szegedi Péter: A nanotechnológia lehetséges katonai alkalmazásai. In Bodzás Sándor (szerk.): *Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban*. Debrecen, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2016. 592–601.; Heimer György: *Magyarok is próbálkoztak: új, halálos fegyver, a drón*. HVG, 2011.

¹⁶ Tóth László: *Tájékoztató a pilóta nélküli légitánc-rendszerek (UAS) frekvenciahasználatáról és engedélyezési kérdéseiről*. Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság, 2018.

¹⁷ Multiple Input, Multiple Output.

¹⁸ Békési L. (2016) i. m.

¹⁹ Békési L. (2016) i. m.

²⁰ Seres (2020) i. m.; Békési Bertold: Pilóta nélküli légitánc típusok sárkányszerkezeti megoldásai. In Pokorádi László (szerk.): *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban*. Debrecen, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2013. 122–132.; Békési László – Békési Bertold: Merevszárnyú pilóta nélküli légitáncok (UAV-k). *Szolgálati Tudományos Közlemények*, 17. (2013), 7–34.; Békési Bertold: UAV-k sárkányszerkezeti megoldásai. *Szolgálati Tudományos Közlemények*, 15. (2011), 1–11.; Békési Bertold: Pilóta nélküli légitáncok jellemzése, osztályozásuk. In Palik Máttyás (szerk.): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. 65–109.

²¹ Békési L. (2016) i. m.

²² Horizontal Take Off and Landing.

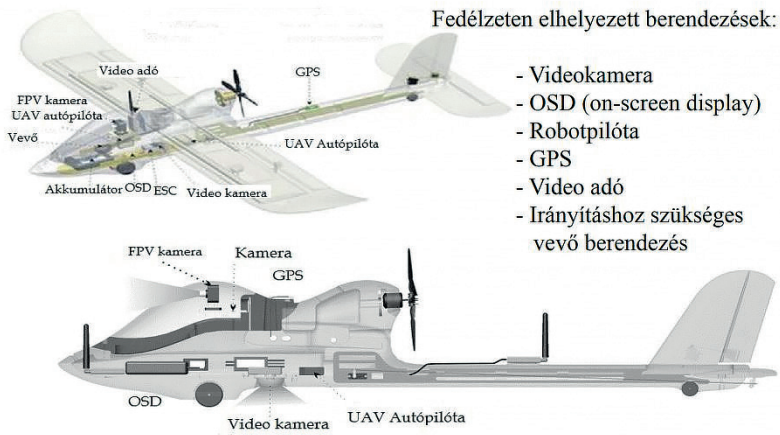
²³ Vertical Take Off and Landing.

²⁴ Békési B. (2013) i. m.

²⁵ *Drone-ok csoportosítása*. Advanced Network Technologies, é. n.

²⁶ Békési L. (2016) i. m.

alapfogalmakkal Palik és szerzőtársai *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*²⁷ című könyvében olvashatunk.



1. ábra

Drón szerkezeti felépítése. Forrás: Vona Dániel: *Pilóta nélküli légi jármű-rendszerek frekvenciahasználata és engedélyezése.* Előadás. Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság, 2014.

Az UAS egy komplettebb rendszert jelent. A Nemzeti Fejlesztési Minisztérium Közlekedési Hatósága a következő meghatározást adja az UAS-re: „A pilóta nélküli 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.”²⁸

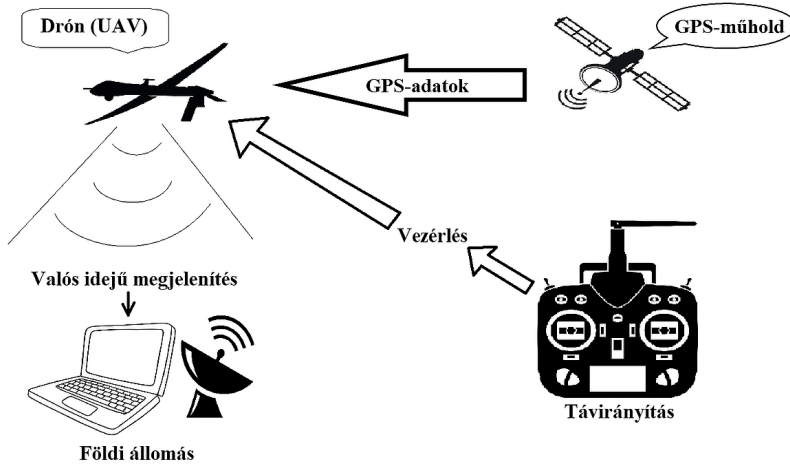
Az adatkapcsolathoz tartozik az irányítás, távvezérlés, felügyelet, hasznos teher (payload). „A hasznos teher a repülési cél megvalósításának eszköze. Ide tartoznak például a különböző fedélzeti távérzékelők, radarok, kamerák, továbbá – a légiforgalmi irányítás, a távvezérlés és felügyelet valamint az akadály érzékelés és elkerülés (S&A) funkciókat ellátó összeköttetések (CNPC) kivételével – az adatátviteli rendszerek is.”²⁹

Úgy is mondhatnánk, hogy az UAS két fő rendszert tartalmaz: fedélzeti egységet és egy földi egységet. A 2. ábra az UAS-rendszer felépítését szemlélteti.

²⁷ Palik Máttyás: *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.* Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013.

²⁸ UAS – Unmanned Aircraft System – Pilóta nélküli légi jármű-rendszer. 38/2021. (II. 2.) Korm. rendelet a pilóta nélküli állami légi járművek repüléséről.

²⁹ Tóth (2018) i. m.



2. ábra

UAS-rendszer szerkezeti felépítése. Forrás: Vona (2014) i. m. alapján Seres József szerkesztése

A pilóta nélküli légi járművek típus- és légi alkalmassági tanúsításának módszertani folyamatai és eljárásrendje az egyes gyártó országokban messzemenően eltérő. Természetesen a szabályozásban is nagyon nagy különbségek mutatkoznak az egyes országok között. Az UAV-/UAS-rendszerek sokszínűek, azok tervezése és gyártása során a legújabb technológiák is használatosak, mint például a 3D-s nyomtatás.³⁰

Az UAV és UAS tervezésének, földi és légi üzemeltetésének kulcskérdése a repülésbiztonság és a biztonság általában. Az UAV fedélzeti rendszerei redundanciájának kérdéseit Békési és Wühl³¹ munkái vizsgálják, és adnak válaszokat a felmerülő biztonsági kihívásokra. Békési Bertold munkáiban az UAV megbízhatóságának vizsgálatát,³² a sárkányszerkezeti kialakításokat³³ és a jövőbeni lehetséges megoldásokat³⁴ foglalja össze.

³⁰ Szabolcsi Róbert: *Pilóta nélküli légi járművek automatikus repülésszabályozó rendszerei. Rendszertervezés és rendszervizsgálat*. Budapest, Óbudai Egyetem – Ludovika Egyetemi Kiadó, 2020.

³¹ Békési Bertold: Redundancy on Board of UAVs – Energy Systems. *Proceedings of the 16th International Conference Transport Means 2012*. Kaunas, Lithuania, 2012. 158–161.; Békési Bertold – Wühl Tibor: Redundancy for micro UAVs – control and energy system redundancy. In *Proceedings of the International Conference Deterioration, Dependability, Diagnostics 2012*. Brno, Czech Republic, University of Defence, 2012. 123–130.

³² Békési Bertold et al.: Investigation of the Reliability of UAVs. *Proceedings of the 16th International Conference Transport Means 2012*. Kaunas, Lithuania, 2012. 101–103.; Békési Bertold – Papp István: UAV Future Development. In *Proceedings of the International Conference Deterioration, Dependability, Diagnostics 2013*. Brno, Czech Republic, 2013. 63–76.; Békési Bertold et al.: Egyszerűsített UAV irányító rendszer megbízhatósági vizsgálata. *Repüléstudományi Közlemények*, 25. (2013), 2. 224–231.; Békési Bertold – Papp István: Pilóta nélküli légi járművek megbízhatósága. In Pokorádi László (szerk.): *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban*. Debrecen, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2014. 223–230.

³³ Békési B. – Békési L. (2013) i. m.; Békési B. (2011) i. m.

³⁴ Békési B. – Békési L. (2013) i. m.; Békési Bertold: Az UAV-k jövőbeni fejlesztési irányai. In Mesterházy Beáta (szerk.): *XII. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Előadások*. Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem, 2013. 101–113.; Békési–Papp (2013) i. m.

3. A drónok fejlődésének alappillérei

A pilóta nélküli repülőeszközök az élet számos területén felhasználhatók. A szerkezetekbe integrált érzékszerveknek – fedélzetén alkalmazott szenzoroknak – kell biztosítaniuk a pilóta nélküli repülőeszköz háromdimenziós mozgásának koordinálásához szükséges információt, a külső környezetből nyert adatok, mért vagy érzékelt mennyiségek alapján. A repülési paraméterek meghatározására más-más fizikai elven működő mérőrendszereket (szenzorokat) használnak, úgymint gyorsulásmérőket, nyomásmérőket; giroszkópokat, radarokat; GPS-eszközöket.³⁵

A drónok fejlődésének egyértelmű alppillérei, amelyek megkövetelik napjainkban is az eszközök továbbfejlődését a tudomány és technika előrehaladása. Egyértelműen kijelenthetjük, hogy a kor és tudomány haladtával eszközeink kisebbek, kompaktabbak, intelligensebbek, akár kompatibilisek más eszközökkel (például mobiltelefonon, alkalmazás segítségével már fedélzeti kameraképet nézhetünk, hangolásokat végezhetünk stb.).

Ilyen fontos szakterület például a mechatronika, szenzortechnika stb. A legfőképpen befolyásolták a fejlődéseket a mikro-elektromechanikai rendszerek (MEMS³⁶-ek). Ezek olyan eszközrendszerek, amelyek elektronikai, mechanikai elemek integrálásával épülnek fel. Méretük 20 és 1000 mikrométer között mozog, valamint az alkatrészek, 1–100 mikrométer közé sorolhatók. A fejlődéseket befolyásolta a MEMS-ek megjelenése a szenzortechnika területén, amely elengedhetetlen ma már a multirotorok stabil működéséhez. Ezek rendkívül fontos alkotórészei egy szerkezet irányításához.³⁷

A szenzorok az UAV-k létfontosságú elemei, amelyek meghibásodása vagy akár átmeneti üzemzavara (például lefagyás, párásodás miatt) az eszköz üzembiztonságát veszélyezteti, esetleg elvesztését is okozhatja. A létfontosságú szenzorok többszörözése javíthatja a működésbiztonságot, de az azonos elven mérő eszközök a külső behatások miatt egyszerre válhatnak üzemképtelenné.³⁸

Az UAV-szenzorok a repülési jellemzők adatait mérő eszközök, amelyek segítségével visszacsatolt szabályozókörök alakíthatók ki. Érzékelők segítségével mérhető a pilóta nélküli repülőeszköz sebessége, repülési helyzete, pozíciója, a repülés magassága, valamint ezek pillanatnyi változása is. Kis méretű UAV-k esetében a következő szenzorok feltétlenül szükségesek ahhoz, hogy az eszköz autonóm repülésre legyen képes:³⁹

- magasságmérő;
- sebességmérő;
- gyorsulásmérő;
- pozíciómérő egy referenciához – giroszkóp;
- helyzetmeghatározó eszköz (például műholdas navigációs vevő; mágneses iránytű).

³⁵ Seres (2020) i. m.; Szegedi Péter – Békési Bertold: Az UAV-on alkalmazható szenzorok. In Mesterházy Beáta (szerk.): *XIV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia*. Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem, 2015. 175–182.

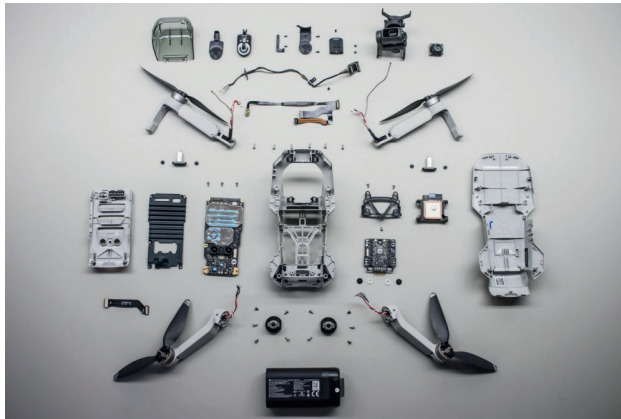
³⁶ Micro Electro Mechanical Systems.

³⁷ Seres (2020) i. m.

³⁸ Palik (2013) i. m.

³⁹ Szegedi Péter – Békési Bertold: Sensors on Board of the Unmanned Aerial Vehicles. In *Proceedings of 19th International Scientific Conference Transport Means*. Kaunas, 2015. 219–222.; Palik (2013) i. m.

A 3. ábra egy Mavic Mini drónt ábrázol, pontosabban annak elemeit, amelyet alkatrészeire szereltek szét. Ezen alkatrészekből látjuk, hogy a mikro-elektrotechnika, -mechanika, szinte minden alkatrészében jelen van.



3. ábra

DJI Mavic Mini alkatrészei. Forrás: Bognár András: Szétszedtük és alaposan megvizsgáltuk a Mavic Mini-t. 2019.

Napjainkban már teljesen elfogadottak ezek a készülékek. Katonai múlttal rendelkeznek, hisz a hadviselésben alkalmazták őket legelőször. Manapság számtalan drónt látunk különböző cikkek főcímdalán, áruházakban, közösségi médiában. Nem csoda, mivel e készülékek fejlesztése a mindennapjainkban számos problémára megoldást nyújthatnak.



4. ábra

Csomagot szállító drón. Forrás: The Local.de: Deutsche Post completes first drone flight. 2013.

A drónok számtalan szituációban helyt álltak az utcákon, hétköznapi szituációktól kezdve – például Németországban csomagkézbesítési feladatokra (4. ábra) – az életmentésig (Mentőszolgálat, kereső-kutató drónok alkalmazása).⁴⁰

⁴⁰ Seres (2020) i. m.

4. Drónok alkalmazása, felhasználása

A „Follow Me” dróntechnológiával az UAV úgy van programozva, hogy automatikusan kövesse a kijelölt személyt. Ez rengeteg lehetőséget kínál egyedi légi felvételek készítésére. Jelenleg kétféle „Follow Me” technológiát alkalmaznak. Azok a drónok, amelyek képesek az ilyen szintű követésre, 2016-ban jelentek meg, és a „Follow Me” innováció azóta is folytatódik. Általánosságban elmondható, hogy azok, amelyek GPS-módon követnek, más intelligens repülési rendszerekkel is rendelkeznek (körözés, útvonalkövetés, visszatérés, automatikus landolás, terepkövetés stb.), amelyek még egyedibb, extrémebb kép- vagy filmrögzítési lehetőségeket kínálnak.⁴¹

4.1. Követési funkció megjelenése

A „Follow Me” egy intelligens repülési mód, amelynek segítségével az eszközünk emberi beavatkozás nélkül, önálló repülést hajthat végre. Mint korábban említettem, két típusnak terjedt el az alkalmazása, amelyek az alábbiak:⁴² GSC⁴³ a Follow Me GPS adó technológiával; „Felismerő” érzékelővel ellátott technológiával ellátott (például DJI).

4.2. Drónok, amelyek GPS-adó vagy GSC segítségével képesek a követésre

Számos követő üzemmódban működő drón GPS-kompatibilis eszközt, például mobiltelefont, táblagépet vagy földi állomásvezérlőt (GSC) használ egy adóval (hordható adó vagy mobiltelefon) együtt. A drónt ebben az esetben úgy programozzák, hogy kövesse az adót. Működésének alapja, a „Follow Me” technológia virtuális kapcsolatot hoz létre a drón és a GPS-szel felszerelt mobil eszköz között, amely lehetővé teszi a drón számára, hogy nyomon kövesse Önt vagy egy adott mozgásban lévő tárgyat.⁴⁴

3 drón, amelyek a fenti metódus alapján alkalmazzák a követés funkciót: Skydio 2 Follow Drone; Holy Stone HS700 Ophelia; Holy Stone HS270.

4.3. Drón, amely a „felismerés” technológia segítségével valósítja meg a követést

Az érzékelők és a felismerési „Recognition” technológia, valamint a szoftveres algoritmusok lehetővé teszik az UAV-k számára a követést. Ez a dróntechnológia lehetővé teszi a szerkezet

⁴¹ Fintan Corrigan: *Drones, Drone Technology, Knowledge, News and Reviews: 12 Best Follow Me Drones And Follow You Technology Reviewed*. DroneZon, 2020.

⁴² Corrigan (2020) i. m.

⁴³ Ground Station Controller – földi állomásvezérlő.

⁴⁴ Corrigan (2020) i. m.

számára, hogy külön mozgó GPS-nyomkövető nélkül kövesse az adott személyt vagy tárgyat. Ilyen eszközök, amelyek ezt használják a következők:⁴⁵

- Skydio 2;
- DJI Mavic Air / Air 2;
- DJI Mavic Pro;
- DJI Mavic 2 Pro;
- DJI Mavic 2 Zoom;
- DJI Phantom 4;
- Yuneec Typhoon H;
- Yuneec Breeze;
- Hover Follow You drone;
- Walkera Scout X4;
- Walkera Vitus;
- Autel Evo.

A fenti listából láthatjuk, hogy a DJI a drone-ok vezető gyártója, a követési technológiával. A szoftver neve ActiveTrack, és beépül a DJI Pilot Go 4 alkalmazásba és az „Assistant” szoftverbe a Phantom 4 és Mavic quadkopterekhez. A Mavic 2 quadkopter legújabb ActiveTrack 2.0 akár 16 különálló objektumot képes felismerni a képernyőn. Ezután már csak ki kell választani a követni kívánt objektumot vagy személyt a DJI Go 4 alkalmazás képernyőjén.

A Follow Me programozására szolgáló szoftvert általában a teljes drónalkalmazásba beépítik. Vannak gyártók, amelyek a Follow Me szoftvert beépítik a GSC-be, ilyen például a Walkera.

A szoftver nagyon kifinomult algoritmusok és számítások segítségével követi és folyamatosan szem előtt tartja az objektumot. A legtöbb Follow Me alkalmazás lehetővé teszi, hogy a gimballt és a kamerát előre beállított repülési távolságokkal, magassággal és szögekkel programozzuk, így a videó nagyon egyedi filmes perspektívákat tesz lehetővé.

Minden UAV-gyártó különböző tartományokat használ a követés technológiájára. Ha a GSC és az adó között túl nagy távolság van megengedve, akkor az kapcsolatvesztéssel is járhat.

Repülésbiztonság szempontjából figyelembe kell venni, hogy a Follow Me módú drónok túlnyomó többségében nincs objektumkerülés. Éppen ezért csak a nyitott tereken, vagy ahol elég hely van, ott érdemes alkalmazni, így nem szakad meg a GPS-jel. A legjobb gyakorlat az, ha előre megtervezzük a repülés útvonalát, és figyelünk minden olyan akadályra, amellyel a drónunk ütközhet, így arra is, hogy akadályok felett repüljön. Ma szinte minden drón lehetővé teszi, hogy beállítsuk azt az „otthoni pontot”, ahova mindig visszatérhet.

A fenti fejlődések várhatóak voltak, hisz már hamarabb használtuk ezeket a kiegészítőket, például mobiltelefonok kijelzőinek arcfelismeréssel, ujjlenyomattal való lezárására, feloldására. A működési elv megegyezik. A következő ábrán látható egy arcfelismerő érzékelő működési elve, mi szerint térképezi fel az emberi arcot.

⁴⁵ Corrigan (2020) i. m.



5. ábra

Az arcfelismerő technológiával feltérképezett emberi arc. Forrás: Joe Dyton: *Is Facial Recognition Technology a No go?* Connected: Real Estate Magazine, 2019.

4.4. Drónok a szórakoztatóiparban

Különböző optikákkal felszerelve ezek az eszközök használhatók a megfelelő autonóm repülés lehetővé tételével filmek forgatásánál. Különböző fesztiválok, koncertek alkalmával remek felvételőrgyítő szerkezetek lehetnek. Különböző sportesemények közvetítésénél, például labdajátékoknál (tenisz, labdarúgás) az események nyomon követésénél is helyt álltak ezek a készülékek.

4.5. Drónok alkalmazása saját magunk fejlesztésére

Ezek a szerkezetek elég fejletté váltak ahhoz, hogy önmagunkat is fejlesszük. Nem régen megjelentek a mezőgazdaságban is (például öntözés, permetezés, növényvédelem 6. ábra). Meteorológiai feladatokat (különböző mérő kiegészítőkkal felszerelt drónok) látnak el. 3D látványtervek elősegítése, nehezen megközelíthető földrészek, szakadékok, barlangok felderítése, valamint különböző őrzés-védelmi, természetvédelmi feladatok segítésére.



6. ábra

Mezőgazdaságban alkalmazott permetező drón. Forrás: *Top 10 Companies in agriculture drone market*. Meticulous Blog, é. n.

5. Mit tartogat a jövő?

A DroneDeploy jelentés szerint az automatizálás a dróntechnika fejlődésének következő lépése. Hamarosan teljesen önműködő drónokat programoznak majd be, amelyeknek már nagyobb bonyolultságú, egyenetlen környezetben is képesnek kell lenniük a feladatok végrehajtására. A jövőben számos önműködő, önállóan repülő szerkezeteket, kialakításokat láthatunk, amelyeket a statisztikák szerint elsősorban építő-, olaj- és gáziparterületeken fognak alkalmazni. A technika és technológia továbbfinomítása segítségével egy kattintással képesek lehetünk ilyen szerkezeteket kiküldeni a „nagyvilágba”, hogy feltérképezzék azt, és információt gyűjtsenek önállóan a meghatározottakról.⁴⁶

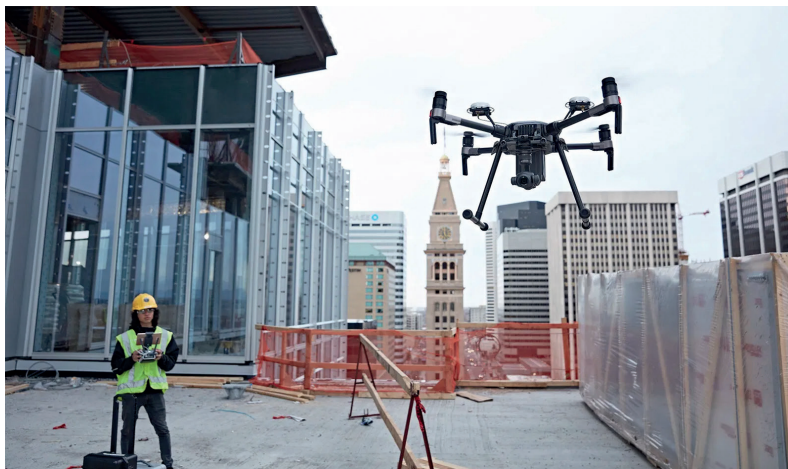
A drónok adatgyűjtő eszközként váltak ismertté, de a jövőben tapasztalni fogjuk, hogy egy teljes folyamat végrehajtásában is közreműködhetnek: adatokat gyűjtenek, elemzik ezeket az információkat, majd reagálnak is ezekre. Például a mezőgazdasági drónok hatalmas területeket lesznek képesek berepülni, ellenőrizni, képesek lesznek felmérni, kiszűrni a gyomnövényeket, kártevőket és egyéb felmerülő problémákat, majd a megadott parancs szerint végrehajtanak.⁴⁷

A dróntechnika fejlesztése, azaz a mesterséges intelligencia fejlődése és a továbbfejlesztett algoritmusok révén a drónok nem csupán hasznosabbá válnak, hanem kritikus jelentőségűek lesznek az ellátási láncok számára, az elsődleges és másodlagos gazdaság szinte minden iparágában.⁴⁸

⁴⁶ Evan Millberg: *The future of drones and where the market currently stands*. SmartBrief, 2020; Parazero. *Drone Safety Systems: The Construction Industry is in Love with Drones*. 2017.

⁴⁷ Millberg (2020) i. m.

⁴⁸ Uo.



7. ábra

Drón alkalmazása az építőiparban. Forrás: www.unmannedsystemstechnology.com/wp-content/uploads/2017/11/Construction-site-drone.jpg

Meg kell említenünk egy teljesen újfajta területet is, mint az egészségügyet. Trencsányi *A drónok sürgősségi vérszállításban való alkalmazhatóságának vizsgálata* című szakdolgozatában arra a következtetésre jutott, hogy a vérkészítmények és laborminták szállítása lehetséges drónok segítségével, tehát a technológia már jelenlegi fejlettségével is alkalmazható lenne a hazai egészségügyben, azonban arra még nem alkalmas, hogy a jelenlegi rendszert teljes egészében helyettesítse a még meg nem oldott technológiai korlátok miatt. Ilyen például a megfelelő hűtőrendszerek és a hőmérséklet ellenőrzésére hivatott rendszerek kialakítása, amelyek további kutatásokat és technológiai fejlesztéseket igényelnek. Továbbá a kereskedelmi célú drónok hazai alkalmazásának egyik legfőbb akadálya a megfelelő jogi keretek hiánya.⁴⁹



8. ábra

M2 Drone alkalmazása laborminták szállításában. Forrás: https://img.directindustry.com/images_di/photo-g/182355-10502449.webp

⁴⁹ Trencsányi (2019) i. m.

6. Összegzés

A mai kor fejlettsége lehetővé tette azon technikai és technológia áttöréseket, amelyekkel létrehozzuk ezeket a már majdnem önállóan működő szerkezeteket. Az élet minden területén bizonyították feladatmegoldó képességüket, hisz adódnak olyan feladatok, szituációk, amelyek emberi élet, egészség, energia megkímélésével megoldhatók. A mesterséges intelligencia továbbfejlesztésével, bonyolult algoritmusok tovább írásával képesek leszünk autonóm szerkezeteket megépíteni. A módszerek ismertek, az eljárás adott, a kérdés már csak az, milyen célból fogjuk őket alkalmazni.

Felhasznált irodalom

- Békési Bertold – Novák Mátyás – Kárpáti Attila – Zsigmond Gyula: Investigation of the Reliability of UAVs. In *Proceedings of the 16th International Conference Transport Means 2012*. Kaunas, Lithuania, 2012. 101–103.
- Békési Bertold – Novák Mátyás – Kárpáti Attila – Zsigmond Gyula: Egyszerűsített UAV irányító rendszer megbízhatósági vizsgálata. *Repüléstudományi Közlemények*, 25. (2013), 2. 224–231.
- Békési Bertold – Papp István: UAV Future Development. *Proceedings of the International Conference Deterioration, Dependability, Diagnostics 2013*. Brno, Czech Republic, 2013. 63–76.
- Békési Bertold – Papp István: Pilóta nélküli légitűeszközök megbízhatósága. In Pokorádi László (szerk.): *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban*. Debrecen, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2014. 223–230.
- Békési Bertold – Szegedi Péter: A nanotechnológia lehetséges katonai alkalmazásai. In Bodzás Sándor (szerk.): *Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban*. Debrecen, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2016. 592–601.
- Békési Bertold – Wühl Tíbor: Redundancy for micro UAVs – control and energy system redundancy. *Proceedings of the International Conference Deterioration, Dependability, Diagnostics 2012*. Brno, Czech Republic, University of Defence, 2012. 123–130.
- Békési Bertold: UAV-k sárkányszerkezeti megoldásai. *Szolnoki Tudományos Közlemények*, 15. (2011), 1–11.
- Békési Bertold: Redundancy on Board of UAVs – Energy Systems. In Donatas Markšaitis – Rolandas Makaras – Ovidijus Putnynas (szerk.): *Proceedings of the 16th International Conference: Transport Means*. Kaunas, Technologija, 2012. 158–161.
- Békési Bertold: Pilóta nélküli légitűeszköz típusok sárkányszerkezeti megoldásai. In Pokorádi László (szerk.): *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban*. Debrecen, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2013. 122–132.
- Békési Bertold: Pilóta nélküli légitűeszközök jellemzése, osztályozásuk. In Palik Mátyás (szerk.): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. 65–109.
- Békési Bertold: Az UAV-k jövőbeni fejlesztési irányai. In Mesterházy Beáta (szerk.): *XII. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Előadások*. Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem, 2013. 101–113.

- Békési László: A pilóta nélküli légitárművekkel kapcsolatos alapismeretek. *Repüléstudományi Közlemények*, 28. (2016), 3 159–176. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_3/2016-3-11-0354_Bekesi_Laszlo.pdf
- Békési László – Békési Bertold: Merevszárnyú pilóta nélküli légitárművek (UAV-k). *Szolnoki Tudományos Közlemények*, 17. (2013), 7–34.
- Bognár András: *Szétszedtük és alaposan megvizsgáltuk a Mavic Mini-t*. 2019. Online: https://appsolute.hu/wp-content/uploads/2019/12/IMG_4423-1000x666.jpg
- Corrigan, Fintan: *Drones, Drone Technology, Knowledge, News and Reviews: 12 Best Follow Me Drones And Follow You Technology Reviewed*. DroneZon, 2020. Online: www.dronezon.com/drone-reviews/best-follow-me-gps-mode-drone-technology-reviewed/
- Drone-ok csoportosítása*. Advanced Network Technologies, é. n. Online: www.ant.hu/hu/blog/drone-ok-csoportositasa
- A dróntechnológia múltja és jelene, jövője*. Dronexpert. Online: www.dronexpert.hu/drontechnologia-2020.html
- Dyton, Joe: *Is Facial Recognition Technology a No go?* Connected, Real Estate Magazine, 2019. Online: <https://connectedremag.com/newsletter/is-facial-recognition-technology-a-no-go/>
- Goldman Sachs Research: *Drones – Reporting for Work*. é. n. Online: www.goldmansachs.com/insights/technology-driving-innovation/drones/
- Heimer György: Magyarok is próbálkoztak: új, halálos fegyver, a drón. *HVG*, 2011. Online: http://hvg.hu/vilag/20111202_dron_repulo
- Mi az a Drón*. Drónpilóták Országos Egyesülete, é. n. Online: <https://doe.hu/mi-az-a-dron?fbclid=IwAR1YCPfBp5Q7kv8wyEz1WgcpQa-rHtGafb7ZaQKEoRL7DMvTI86TbiYwAsk>
- Millberg, Evan: *The future of drones and where the market currently stands*. SmartBrief, 2020. Online: www.smartbrief.com/original/2020/03/future-drones-and-where-market-currently-stands
- Palik Máttyás: *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Online: www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/UAV_handbook_Secon_edition.pdf
- Parazero Drone Safety Systems: *The Construction Industry is in Love with Drones*. 2017. Online: <https://parazero.com/2017/07/14/elementor-315/>
- Seres József: *Mikrokontrollerek alkalmazásának lehetőségei pilóta nélküli légitárműveken*. Szakdolgozat, 2020.
- Szabolcsi Róbert: *Pilóta nélküli légitárművek automatikus repülésszabályozó rendszerei. Rendszertervezés és rendszervizsgálat*. Budapest, Óbudai Egyetem – Ludovika Egyetemi Kiadó, 2020.
- Szegedi Péter – Békési Bertold: Sensors on Board of the Unmanned Aerial Vehicles. In *Proceedings of 19th International Scientific Conference Transport Means*. Kaunas, 2015. 219–222.
- Szegedi Péter – Békési Bertold: Az UAV-on alkalmazható szenzorok. In Mesterházy Beáta (szerk.): *XIV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia*. Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem, 2015. 175–182. Online: http://publicatio.nyme.hu/613/1/TTK_14_Nemzetkozi_Konf_Eloadasok_201500516.pdf
- The Local.de: *Deutsche Post completes first drone flight*. 2013. Online: www.thelocal.de/20131209/deutsche-post-completes-drone-delivery-flight
- Top 10 Companies in agriculture drone market*. Meticulous Blog, é. n. Online: <https://meticulousblog.org/top-10-companies-in-agriculture-drone-market>
- Tóth László: *Tájékoztató a pilóta nélküli légitármű-rendszerek (UAS) frekvenciahasználatáról és engedélyezési kérdéseiről*. Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság, 2018. Online:

http://nmhh.hu/dokumentum/193162/UAV_tajekoztato.pdf?fbclid=IwAR1xfqynZ417tHRL5LlziXcelEoLoIAhdna5oljg5Fqq9XZxcXi7JYglXTE

Trencsányi Attila: *Életmentő drónok; a pilóta nélküli repülő robotok felhasználási lehetőségei az egészségügyben, különös tekintettel a sürgősségi vérszállításra*. Szakdolgozat, Szeged, 2019. Online: http://web.med.u-szeged.hu/healthecon/images/szakdolgozat/Trencsanyi_Attila.pdf

UAS – Unmanned Aircraft System – Pilóta nélküli légi jármű rendszer. 38/2021. (II. 2.) Korm. rendelet a pilóta nélküli állami légi járművek repüléséről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A2100038.KOR>

Vona Dániel: *Pilóta nélküli légi jármű-rendszerek frekvenciahasználata és engedélyezése*. Előadás. Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság, 2014. Online: www.hte.hu/documents/329421/542195/sze_2_Vona_Daniel.pdf?fbclid=IwAR1ETSdVBPOQYbNl5yHh1TPSi5mS2-cGAeC-gmS__Fi1WfujCwFTdOm3l7c
https://img.directindustry.com/images_di/photo-g/182355-10502449.webp



Varga Béla¹

Katonai helikopterek múltja, jelene és jövője

A tervezők képzeletét a merevszárnyú repülőgépek fejlődésével párhuzamosan a forgószárnyas repülés lehetősége is megmozgatta. Bár négy évvel a Wright fivérek repülése után, 1907-ben felemelkedett az első helikopter is, még hosszú időnek kellett eltelnie az első gyakorlatban is használható helikopterek megszületéséig. Ennek fő oka az volt, hogy a helikopterrepülésre jellemző aszimmetrikus áramlási viszonyok, a forgószárny vezérlésének bonyolultsága és a reakciónyomaték kiegyensúlyozásának nehézségei sokáig megoldhatatlan feladatot jelentettek a tervezőknek. Az 1930-as években azonban az autogirókkal szerzett tervezési és repülési tapasztalatokkal egyre közelebb kerültek a helikopterrepülés gyakorlati problémáinak megoldásához. Az 1940-es években ezzel megkezdődhetett a repülés forgószárnyas korszaka, amit szélesebben követett nagyszámú megjelenésük és széles körben való alkalmazásuk mind a polgári, mind a katonai repülés területén. Ebben a cikkben ezt a folyamatot szeretném bemutatni. A téma nagysága miatt természetesen csak egy-egy szelet bemutatására, a jelentősebb mérföldkövekre kitérve.

Kulcsszavak: helikopter, légi szállítási feladat, tűzérési megfigyelés, sebesültek mentése, kutató-mentő feladatok

Past, Present and Future of Military Helicopters

Parallel with the development of fixed-wing aircraft the designers were also inspired by the possibilities of rotary wing flying. Although four years after the Wright brothers rose into the air, the first helicopter also took off in 1907, but it still took a long time until the first practically usable helicopters were born. The main reason was that the asymmetric flow of the rotor system, the complexity of the helicopter control system, and the difficulty of the anti-torque system have long been an unsolvable task for designers. However, in the 1930s, with design and flight experience gained with autogyros, they came closer and closer to solving the practical problems of helicopter flight. In the 1940s the era of rotary wing flying has begun, which was rapidly followed by their large number of appearances and widespread use in both civil and military aviation. In this paper I would like to present, due to the size of the topic, only some important fractions of this process.

Keywords: helicopter, air transport, observation, medical evacuation, search and rescue

¹ Egyetemi docens, Nemzeti Közsolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék, e-mail: varga.bela@uni-nke.hu

1. Bevezetés

A II. világháború végén jelentek meg az első, katonai és polgári célra is már ténylegesen alkalmazható helikopterek. Bár a hadseregek vezetői azonnal felfigyeltek erre az új találmányra, rendkívül korlátozott hatótávolsága, sebessége, repülési magassága, terhelhetősége és vélt sebezhetősége miatt az első években nagy volt a bizalmatlanság is iránta. Jól kifejezi ezt egy magas rangú amerikai katonai szakértő 1940-es évek végéről származó kijelentése, miszerint a helyből felszállás képessége nem elegendő ahhoz, hogy a helikoptert mint harci eszközt tömegesen rendszerezítsék a hadseregben. Ehhez képest 1957-ben már több mint 7000 helikopter szolgált az Amerikai Egyesült Államok hadseregében.² További tíz év múlva alkalmazásuk tömegessé vált a vietnámi háború idején. Ma pedig egy korszerű hadsereg légierije elképzelhetetlen, a kor kívánalmainak megfelelő harci és szállító helikopterek nélkül. Ez a fejlődés számos új műszaki megoldást hozott magával, amely a helikopterek teljesítményének gyökeres javulásához vezetett. A repülési sebesség az egyetlen terület, ahol nem sikerült áttörést elérni. Ezt azonban számtalan más pozitív tulajdonsága kompenzálja. A mai teherszállító helikopterek hasznos terhelhetősége megközelíti a hasonló kategóriájú merevszárnyú repülőgépekéét. Ezek egy része légi utántöltési lehetőséggel is rendelkezik. A harci helikopterek építésében megjelent a stealth technológia, amely egy új fejezete a harci túlélőképesség javításának. A tervezés és építés során jelentős szerepet kaptak azok a műszaki megoldások, amelyek baleset vagy harci sérülés esetén a személyzet túlélési esélyeit hivatottak javítani.

A sárkányszerkezeti elemek és a forgószárnyrendszer fejlődésén túl azonban az alkalmazott erőforrásoknak is gyökeres szerepük volt abban, hogy a helikopterek eljutottak a mai fejlettségi szintjükre. Az első gyakorlatban alkalmazott helikoptert, a Sikorsky R-4-est, 149 kW-s R-550-3 dugattyús motorral szerelték fel. De hamarosan megjelentek a Sikorsky S-58 helikopterek 1137 kW-s Wright R-1820-84 motorokkal, illetve a H-21 helikopterek 932 kW-s Wright R-1820-102 motorokkal. Ezzel azonban – főleg a közepes és nehéz kategóriában – be is fejeződött a dugattyús motorok szerepe, és átadta helyét a merevszárnyú repülőgépekben már elterjedt gázturbináknak. Először a már rendelkezésre álló – akkoriban főleg egyforgórészes –, légcsavaras gázturbinás hajtóműveket próbálták átalakítani helikopterekbe történő beépítésre, azonban hamar rájöttek, hogy a helikopterek speciális gázturbinákat (*turboshaft*) igényelnek, amelyek legfontosabb része a forgószárny és a kapcsolt berendezések meghajtását biztosító szabadturbina.³ Megjegyzendő, hogy ez az elrendezés később általánossá vált a légcsavaras gázturbinás (*turboprop*) hajtóműveknél is.

Az 1950-es évek elején a General Electric 3 millió dolláros szerződést kapott az Egyesült Államok kormányától egy új, könnyű és megbízható helikoptereken alkalmazható tengelyteljesítményt⁴ szolgáltatató gázturbina kifejlesztésére. A titkos program XT-58 elnevezéssel indult, és a végeredmény egy 596 kW-s tengelyteljesítményű gázturbina lett, amelynek szerkezeti tömege mindössze 181 kg volt.

A Szovjetunióban az Izotov Iroda által tervezett új TV2-117A hajtómű és a VR-8 reduktor 1962 nyarán készült el és építették be az akkor újonnan fejlesztett Mi-8 helikopterekbe. A hajtómű felszálló üzemmódon 1118 kW teljesítményt adott le a kor körülményeihez képest

² Kevin J. Dougherty: The Evolution of Air Assault. *Joint Force Quarterly*, (1999), August, 51–58.

³ Szabadturbina: tengelyteljesítményt adó, a kompresszorturbinával csak gázdinamikai kapcsolatban lévő turbina.

⁴ Tengelyteljesítmény: a szabadturbina-tengelyen leadott teljesítmény [kW].

jó fajlagos mutatók mellett. Kedvező tulajdonságai miatt ez a hajtómű lett az alapja a későbbi szovjet helikopterhajtómű-típusoknak.

A fejlesztések folyamatosak, így manapság ebben a gázturbinás hajtómű-kategóriában 200 kW-tól 3000 kW-os tengelyteljesítményig típusok százait kínálják a gyártó cégek.

2. Korai helikopterek

„Hamarosan beláttuk, hogy a helikopternek nincs jövője és elvetettük az ötletet. A helikopter hatalmas energia befektetéssel végzi el azt a munkát, amit a léghajók energia befektetés nélkül és semmivel nem alkalmasabbak vízszintes repülésre. Ellenben, ha hajtóművük leáll szörnyű véget érnek, mivel sem siklani nem tudnak, mint a repülőgépek, sem lebegni, mint a léghajók. A helikoptereket sokkal egyszerűbb megtervezni, mint a repülőgépeket, de teljesen felesleges.”⁵

– Wilbur Wright, 1909.

„Ha valahol bajba kerültél a világban, egy repülőgép föléd repülhet és dobhat virágot, de leszállni és kimenteni egy helikopter fog.”⁶

– Igor Sikorsky, 1947.

Néhány tanulság a helikopterek repülését érintő idézettel kezdjük a cikket. Az első idézet tévedésére mintegy válasz a második idézet. Szerencsére minden korban voltak olyan fiatal, ambiciózus és tettere kész tudósok, akik nem hittek a nagy öregek jóslataiban, és mertek újat álmodni. Ilyen volt Igor Sikorsky is, akinek neve leginkább összekapcsolódott a helikopterek nagykorúvá válásával. Az ő idézete talán legrövidebben és legtisztábban írja le nekünk, hogy ez a sok bajjal megvert, de bonyolultságában is szép repülőszerkezet miért nem tűnt el a repüléstörténet süllyesztőjében. Természetesen nem Igor Sikorsky névvel kezdődött a helikopterrepülés története. A helikopterek az 1940-es évek elején jutottak el a gyakorlati használhatóság stádiumába. Amerikai részről Igor Sikorsky kísérletei voltak a legígéretesebbek, aki 1940-ben megépítette VS-300-as helikopterét (1. ábra), amely sikeres forgószárnyas generációk előfutára volt. Ezen a típuson jelent meg először a később oly sikeressé és elterjedtté vált egyforgószárnyas faroklégcsavaros elrendezés. Ezután egymás után jelentek meg helikoptereikkel a később világhírűvé vált amerikai tervező intézetek alapítói, úgymint Bell, Kaman, Hiller vagy Piasecki.

A helyből fel- és leszállás képességének jelentőségét hamar felismerték a katonák is. Bár azt is el kell mondani, hogy jócskán akadtak tamaskodók is a helikopterek harci alkalmazhatóságával kapcsolatban. Ezek a kételyek nem is voltak teljesen alaptalanok, mivel a korai helikopterek meglehetősen szerény teljesítményadatokkal rendelkeztek. Maximális sebességük körülbelül 120–140 km/h, hasznos teherbírásuk pedig maximum 250 kg körül mozgott. A kételyek ellenére, ha korlátozottan is, de már a II. világháború csataterain megjelentek a helikopterek. Ebben az időszakban a tűzéségi megfigyelés, futárfeladatok és a légi mentés tartozott a fő feladataik közé. Ebből is kiemelkedett a légi mentés, hiszen a helyből

⁵ GlobalSecurity.org

⁶ Azquotes.com

fel- és leszállás képessége akár egy dzsungel tisztásán is lehetővé tette a landolást és a sebesültek evakuálását. 1943 tavaszán (a források nem pontosak erre vonatkozóan) megtörtént az első légi mentés. Az indiai Hailakandiban állomásozó 1. Légi Parancsnokság⁷ kötelékébe tartozó Sikorsky R-4-es helikopter repült át a japánok által megszállt területre, és 3 sérülttel tért vissza.⁸

A II. világháború után az Egyesült Államokban a helikoptereket mind a négy fegyvernem, a Szárazföldi Hadsereg,⁹ a Légierő,¹⁰ a Haditengerészet¹¹ és a Tengerészgyalogság,¹² valamint rajtuk kívül a Partiőrség¹³ is rendszeresítette. Az 1950-es években számtalan új típus jelent meg, amelyek már erősebb hajtóművekkel, nagyobb megbízhatósággal és jobb teljesítményadatokkal rendelkeztek, mint elődeik.



1. ábra

Sikorsky VS-300 (1939). Forrás: Vought-Sikorsky VS-300.

Természetesen a Szovjetunióban is megkezdődött a helikopterek fejlesztése, habár némi késéssel a többi jelentős repülőiparral rendelkező országhoz képest. Ezt a hátrányt viszonylag gyorsan ledolgozták a szovjet tervezők, és a II. világháború után az USA mellett a Szovjetunió lett a legnagyobb helikopterfelhasználó mind polgári, mind katonai területen, ugyanakkor egyben a legnagyobb helikopterexportőr is. Ugyanúgy, ahogy a többi helikopteres repüléssel foglalkozó országban, az autogirók és ezek repülésével szerzett tapasztalatok jelentősen hozzájárultak a sikeres helikopter kísérletekhez. Ezek közül az 1929-ben megépített KaSkr-1 típusjellel épült forgószárnyas szerkezet éppen annak a Nyikolaj I. Kamovnak a nevéhez fűződik, aki egyik meghatározó alakja lett a későbbi szovjet helikopterfejlesztéseknek.

⁷ 1st Air Command.

⁸ Gion Gábor: Mentőangyalok. *Top Gun*, 10. (1999), 10. 16–20. Ferenczy Könyv és Lapkiadó.

⁹ US Army.

¹⁰ US Air Force.

¹¹ US Navy.

¹² US Marine Corps (USMC).

¹³ US Coast Guard (USCG).

3. A helikopterek nagykorúvá válása

3.1. Amerikai Egyesült Államok

1945 után a Hadsereg és a Tengerészgyalogság is azonnal hozzálátott a helikopterek újszerű alkalmazási lehetőségeinek kipróbálásához, bár ezek pillanatnyilag csak igen korlátozottan feleltek meg az igényeknek, csekély hasznos terhelhetőségük miatt. Ennek ellenére a Tengerészgyalogság kitért a helikopterek mellett, folyamatosan gyűjtve a tapasztalatokat a helikopterek harctéri alkalmazhatóságával kapcsolatban. Így a koreai háborúban először egy ideiglenes tengerészgyalogos helikopteres egység jelent meg 1950 augusztusában. Ugyancsak ebben az évben érkezett meg az első század erejű szállítóhelikopter-egység is, amely 15 darab Sikorsky H-19-es (S-55) helikopterrel volt felszerelve. Az egység az 1. Tengerészgyalogos Hadosztályon belül kezdte meg tevékenységét. Ezekkel a helikopterekkel már lehetővé vált az addig szokásos mentési és légi szállítási feladatokon túl kialakítani egy gyökeresen új harcéljárás. Ennek a lényege az volt, hogy felhasználva a helikopterek által nyújtott nagy mozgékonytságot és a leszállóhely iránti igénytelenségét, nagyszámú katonát tudtak eljuttatni viszonylag rövid idő alatt szinte bárhová. Ez az eljárás jelentősen megnövelte a gyalogság mobilitását, lehetővé téve az erők gyors és meglepetésszerű átcsoportosítását. A kezdeti sikerek inspirálták a hadsereg vezetését is helikopteres egységek létrehozására. Ennek megfelelően 1952-ben megalakították a 6. Szállító (helikopter) Századot, amelyet aztán az év végén telepítettek Koreába. Ez az egység már jelentős szerepet játszott a harcoló alakulatok légi mozgásában. A háború végéig a hadsereg két, a tengerészgyalogság tíz helikopter századot rendszeresített a hadszíntéren. A fegyverszünet után nem állt meg a helikoptereknek az amerikai hadseregbe történő integrálásának folyamata.

A vietnámi háború idejére elmondható, hogy a helikopterek nagykorúvá váltak. Ez olyanira igaz, hogy a vietnámi háborúra jellemző légi szállítás (*air cavalry*) hadviselés is alapvetően ezen eszközök tömeges alkalmazására épült. A helikopteres szállítás lehetővé tette, hogy a csapatokat gyorsan és váratlanul lehetett a támadás helyszínén kirakni, akár nagyobb távolságra is a saját területektől, az ellenség mélységében. Az utánpótlást és a légi támogatást, valamint a sérültek evakuálását és az alakulatok harcból történő kivonását is képesek voltak forgószárnyas eszközökkel megoldani. A tapasztalatok azt mutatták, hogy ez a helikopterekkel támogatott hadviselés eredményes volt a vietnámi hadsereget jellemző gerilla-hadviselés ellen. A vereség okait nem szeretném elemezni, de ez bizonyosan nem a helikopterek alkalmazásából származott.

A háború folyamán az Egyesült Államok 19 különböző helikoptertípust alkalmazott, amely összesen közel 12 ezer forgószárnyast jelentett. Csak a Hadsereg UH-1-esei (2. ábra) 7,5 millió órát repültek a háború alatt. A háború csúcspontján 1970 márciusában 3900 helikopter állt egy időben szolgálatban Vietnámban.¹⁴ Az 1950-es, 1960-as években feladatkörük is jelentősen kiszélesedett. Egyre gyakrabban alkalmazták őket légi szállítási feladatokra, tűzérési megfigyelésre, csapatok légi úton történő bevetésére és kivonására, sebesültek mentésére, kutató-mentő és fegyveres kíséresi feladatokra, parancsnoki harcálláspontként, bevetésről érkező sérült gépek oltására, vizuális és fotófelderítő és még sok egyéb kisebb jelentőségű feladatra. Az új felhasználási területekkel megindult specializálódásuk is. Éppen a vietnámi

¹⁴ Dougherty (1999) i. m.

háború harci tapasztalatai mutatták meg, hogy a „mindenes” UH-1-es helikopterek rendkívül hasznosak, de hatékony kíséret nélkül sebezhetőek, valamint a már harcokban részt vevő csapatoknak égető szüksége van olyan harceszközre, amely megoldja közeli légi tűztámogatásukat.



2. ábra

UH-1-esek bevetésen Vietnamban. Forrás: Dougherty (1999) i. m. 51.

Ezeknek a problémáknak a megoldása inspirálta a tervezőket a harci helikopterek megalkotására. Ezek első példánya a Bell AH-1 Huey Cobra lett (3. ábra), amely 1965-ben emelkedett először levegőbe, és 1967-ben első példányai megjelentek Vietnamban.¹⁵ Nagy tűzerejük megváltásként jött a nehéz körülmények között harcoló katonáknak, mivel képesek voltak az ellenséget tűz alá venni még közvetlenül az amerikai állások közelében is.



3. ábra

Bell AH-1G Huey Cobra. Forrás www.helis.com/database/model/AH-1G-Cobra/+bell%20ah-1g%20cobra?filc=ES

¹⁵ Horváth Zoltán: Szárnyas kígyók, Bell AH-1 Huey Cobra. *Top Gun*, Top Gun KFT, 1995. március.

A Cobrák feladata Vietnámban a gerillaháború jellegéből adódóan jobbára az ellenség élőerejének, illetve nem vagy gyengén páncélozott eszközeinek a megsemmisítése volt. Ekkor azonban a hidegháború közepén egy esetleges európai háborúban a páncélos erők tömeges bevetése volt várható. Az Egyesült Államokat különösen aggasztotta a szovjet páncélos fölény, ezért az 1970-es évek elején kísérleteket kezdtek, hogy a Cobrák milyen hatékonysággal lennének alkalmasak páncélozott célok megsemmisítésére. A kísérletek eredménye biztató volt, ami a harci helikopterek új generációinak kifejlesztéséhez vezetett.

Az AH-1 Cobrát az AH-64 Apache helikopter változatai követték (első repülése 1975-ben, rendszerbe állítása 1984-ben).¹⁶ Hosszú ideig úgy tűnt, hogy az USA új generációs harcihelikopter-típusát az RAH-66 Comanche rendszerbe állítása fogja képezni. A folyamatosan érkező költségvetési megszorítások azonban elsöpörték a programot. Ennek ellenére természetesen a programban elért fejlesztések nem veszttek teljesen kárba, mert eredményeiket a már rendszeresített típusok modernizálásánál felhasználták. Egyik ilyen eredmény a helikopterhez kifejlesztett új hajtómű (LHTEC T800), amely számos, már létező, sokszor pont hajtóműve miatt elavuló típus (például UH-1C) felélesztésében segített.¹⁷

3.2. Szovjetunió, Oroszország

Habár a kezdeti időszakban Alekszandr Szergejevics Jakovlev, számos sikeres merevszárnyú repülőgép tervezője, is elkezdett helikoptereket tervezni (Jak-24 tandem elrendezésű helikopter), a II. világháború után két szovjet helikoptertervező iroda munkássága emelkedett ki. Az egyik a korábban már említett Nyikolaj Iljics Kamov (1902–1973). Legismertebb konstrukciói a főként hajófedélzeten alkalmazott Ka-25 Hormone, Ka-32 Helix, illetve az 1990-es években az orosz harcihelikopter-tendert megnyerő Ka-50/52 Hokum A/B (4. ábra). Magyarországon a Kamov tervezőiroda a Ka-26 Hoodlum helikoptere vált legismertebbé, mivel jelentős számban rendszeresítették a volt Magyar Néphadseregben futár feladatokra, valamint a polgári életben alapvetően mezőgazdasági és növényvédelmi feladatokra. A Kamov helikopterek jellemző névjegye lett a kétforgószárnyas koaxiális elrendezés, amely alól csak a Ka-60/62 tér el. Elvitathatatlan, hogy a Kamov tervezőiroda számtalan sikeres konstrukcióval állt elő, de talán úgyszintén vitán felüli, hogy a legsikeresebb szovjet helikoptertervezővé Mihail Leontyevics Mil vált.

Első sikeres típusa a GM-1, amely később kapta a Mi-1 Hare elnevezést, 1948-ban repült először. Ez volt az első szovjet forgószárnyas, amely sorozatgyártásra került. Ezt követte a Mi-4 Hound még csillagmotorral, majd a Mi-2 Hoplite és a Mi-8 Hip már gázturbinás erőforrással.¹⁸ Ez utóbbi hatalmas népszerűsége tett szert nemcsak a Szovjetunióban, hanem az egész keleti blokkban és a fejlődő világban, de még nyugati országokba is eljutott. Sikerét viszonylagos egyszerűsége, alacsony karbantartási igénye okozta. Habár csak a második (körülbelül 10 ezer db) legnagyobb számban épített helikopter az UH-1 különböző verziói mögött (körülbelül 15 ezer db), az összehasonlítás nehéz, mert az UH-1-esek mind méretben mind szállítási kapacitásban jelentősen elmaradnak a Mi-8 mellett. A típus alkalmas 24 felfegyverzett

¹⁶ Horváth (1995) i. m.

¹⁷ Fred W. Dickens – Tommy Thomason: *Achieving Helicopter Modernization with Advanced Technology Turbine Engines*. Defence Technical Information Center Compilation Part Notice, April 1999.

¹⁸ Uo.

katona szállítására, valamint korlátozottan földi célok elleni támadásra, parancsnoki harcáláspontként, elektronikai ellentevékenységre és sok más feladatra. Elegendő csak a Magyar Néphadseregen, később a Magyar Honvédségen belüli felhasználási területekre gondolni, kezdve toronyelemek beemelésétől, tűzoltási feladatokig, illetve sikeres árvízi védekezésekig,



4. ábra

Ka-52 Hokum B. Forrás: www.airforce-technology.com/projects/ka52-alligator-attack-helicopter-russia/

A Szovjetunióban is felismerték a harci helikopterek fontosságát, és ennek eredményeképpen született a Mil tervezőirodában Mi-24 Hind (5. ábra), amelynek első repülésére 1970-ben került sor, majd rövidesen éles próbájára is 1979 és 1989 között a Szovjetunió afganisztáni szerepvállalása alatt. A típus afganisztáni szereplése megosztja a szakembereket, de tény, hogy mind a körülmények (3–4000 m-es hegyek), mind pedig az afgán harcosok (mudzsa-hedinek) által kidolgozott és a terepviszonyok által is támogatott harcmódor eleve hátrányos helyzetbe hozta a harci, de különösképpen a kisebb mozgékonyssággal és védelemmel ellátott szállító helikoptereket.

Az 1980-as évek végére részben az afganisztáni tapasztalatok, részben a nemzetközi trendek alapján szakítottak a Mi-24 esetén alkalmazott öszvér (korlátozott tehertér) megoldással, és megkezdődött a Mi-28 Havoc kifejlesztése. A helikopter egyben versenyben volt az orosz harcihelikopter-tender elnyeréséért az előbb már említett Ka-50 harci helikopterrel, amely némi meglepetésre ez utóbbi sikerével zárult. Ennek ellenére később döntés született a Mi-28-as helikopterek gyártásáról is. Az orosz fegyvergyártó cégek erőteljes marketinget folytatnak termékeik értékesítésére, így az előbb említett harci helikopterek is részt vesznek különböző tendereken, eddig mérsékelt sikerrel.



5. ábra

Mi-24 harci helikopter. Forrás: <https://magyartudat.com/visszaerkeztek-oroszorszagbol-mi-24-es-harci-helikoptereink/>

3.3. Magyarország

Magyarországot tekintve, ha nem is volt kiemelkedő szerepünk a helikopterrepülés elindításában, azért néhány bekezdés nekünk is jutott. 1916-ban Petróczy István, Kármán Tódor és Zurovecz Vilmos a sérülékeny tüzérségi kötött megfigyelő ballonok kiváltására kötött megfigyelő helikoptert szerkesztett. A helikopterrel sikeres repüléseket végeztek. A 6. ábrán a továbbfejlesztett PKZ-2 tüzérségi megfigyelő helikopter látható.

Nem feledkezhetünk meg egy másik hazánkfiáról, Asbóth Oszkáról sem, aki 1929–1931 között négy helikoptert épített. Az utolsó modell 30 méterre emelkedett, 3,2 kilométert tett meg 19 km/h-s sebességgel. Kormányzása a forgószárny áramlásába eső kormánylapokkal volt megoldott, de kormányozhatósági tulajdonságai gyengék voltak.¹⁹ Itt meg kell említenünk azt a szakmai körökben eléggé elterjedt nézetet, miszerint Asbóth feltehetően némileg „kozmetikázta” az általa elért eredményeket. Egyik „érdekes tény” a szerkezetek repüléseiről készült fotókon az alatt állók furcsa kéztartása, amivel a körülállók a gépre mutatnak. (Lehet, hogy a biztosító köteleket tartják?) Az viszont egyértelműnek tekinthető, hogy az Asbóth által választott út nem vezethetett eredményre. Sajnos csak azt sikerült bizonyítania, hogy az általa javasolt elrendezés nem életképes.²⁰

¹⁹ Asboth A-4 1928. é. n.

²⁰ Pokorádi László: A helikopteres repülés első 100 (?) éve. *Debreceni Szemle*, 17. (2009), 1. 3–18.



6. ábra

Petróczi István, Kármán Tódor és Zurovecz Vilmos tüzérségi megfigyelő helikoptere. Forrás: Petróczy-Kármán-Zurovec PKZ-2 1918.

Az első magyar tervezésű helikopter megalkotását jelentette Samu Béla, Orosz Jenő és Hatházi Dániel 1954-ben elkezdett munkája. Samu Béla egyetemi docens már 20 éves korában az MSrE-ben dolgozva tanulta a repülőgép-tervezést. 1951-ben meghívták a budapesti Műegyetemre. Orosz Jenő (1922–1987) repülőgép-tervező munkáját szintén az MSrE-ben kezdte. A SOH-1 fejlesztésén kívül jelentős mértékben részt vett a Fergeteg és az Ifjúság (ez utóbbi tiszta fémépítésű) vitorlázó repülőgépek tervezésében. Hatházi Dániel (1920–1978) 1951-től haláláig a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Kar Repülőgépek Tanszékén, illetve annak jogutódján tanított. (Fia jelenleg a jogutód Repülőgépek és Hajók Tanszék oktatója.) A SOH-1 típusnévre keresztelt helikopter hatlapátos forgószárnya, illetve annak agykialakítása és forgószárnyvezérlése műszaki szempontból igen érdekes volt, pörgettyűs stabilizátort tartalmazott, ami a kitéréssel arányos kormányerőt szolgáltatott, ami Hatházi Dániel szabadalma. Hatásos stabilizáló rendszerével és a kormányerő érzékelhetőségével olyan jelentős lépést jelentett a helikopterek konstrukciójának fejlesztésében, hogy irántuk nagyon komoly nemzetközi érdeklődés is megnyilvánult. A helikopter prototípusa alapos kutatások, távirányítású, szabadon repülő modellel végzett sikeres kísérletek után épült meg. A helikopterrel végül a hosszú tervezés és a sok probléma után egy – a repülőgép-vezetői hiba miatt bekövetkezett – szerencsétlen berepülési kísérlet végzett 1960-ban. A motorpróba során a helikopter kissé megemelkedett, majd a talajra visszaérve az oldalára dőlt és a forgószárny összetört, és a törzs szerkezete is súlyosan károsodott. A további kísérletek – pénzühiány miatt – nem folytathatók.²¹

A helikopterek rendszerbe állítása a Magyar Néphadseregben viszonylag későn történt meg. 1955-ben ugyan megérkezett 2 db Mi-4-es. Ezek azonban szerencsétlen sorsúnak bizonyultak, mivel mindkét példány rövidesen balesetet szenvedett. Igazából az 1961-ben Szovjetunióból érkezett 8 db Mi-1-essel indult a helikopteres repülés. A következő években ezeket további

²¹ Pokorádi (2009) i. m.

példányok követték, amelynek részletezése a többi típussal az 1. táblázatban található. Ezeket a forgószárnyasokat főként futárfeladatra alkalmazták a Kecskeméten települt 89. Vegyes Repülőosztály kötelékébe besorolva. 1968 októberében megalakult a 86. Önálló Helikopter ezred, ahová megérkeztek az első Mi-8-as helikopterek (7. ábra). 1969-ben ez az alakulat megkezdte az átköltözést Szentkirályszabadjára. 1971-ben rendszerbe álltak a Ka-26-osok is, amelyeket a Varsói Szerződésen belül egyedül a Magyar Néphadsereg rendszeresített. Ebben a szervezeti formában az alakulat nem sokáig működött. 1971-ben megalakult a 87. Szállító Helikopter Ezred a korábbi alakulat meglévő Mi-8 helikoptereivel, illetve a 88. Könnyű Helikopter Osztály a kivált Ka-26 és a Mi-1 típusokkal. Az utóbbi alakulat 1974-ben Börgöndre települt. 1978-ban Szentkirályszabadjára megérkezett az első 10 Mi-24D. 1984-ben újabb átszervezés következett, amikor a szállító helikopterek egy része áttelepült Szolnokra, megalakítva a 89. Vegyes Szállítórepülő Ezredet. A helyben maradó állomány alkotta a „Bakony” Harci Helikopter Ezred (egy időben dandár) állományát. 2004-ben ezt az alakulatot is felszámolták, a maradék technika átkerült Szolnokra, és a két alakulatból létrejött a 86. Helikopter Ezred, amely 2007-ben kapta a ma is használt 86. Szolnok Helikopter Bázis elnevezést.

1. táblázat

Magyarországra érkezett helikopterek típusváltozatai, száma és rendszerbe állítási éve.

Forrás: Óvári Gyula: Korszerű csapásmérő helikopterek harcászati-technikai jellemzői, alkalmazási lehetőségei. *Katonai Logisztika*, 8. (2000), 2. 147–180., illetve *Új helikoptertípus, új évtized, új korszak – Rendszerbe áll a H145M*. Harcihelikopter blog, 2020.

Repülő- eszköz típusa	Rendszerbeállítási év/darab																									
	55	61	62	63	64	68	69	71	72	73	75	78	80	82	83	84	85	87	89	94	12	19	20	21	22	23
Mi-24D												4	16				10									
Mi-24V																	10									
Mi-8T						5	6		10	13	1															
Mi-8P							2				1															
Mi-8PSZ														2												
iraki Mi-8																				10						
finn Mi-8																					2					
Mi-9															1											
Mi-17																		5								
Mi-17PP																				2						
Mi-2														10	5	8	8	4								
Mi-1		6		8	6																					
Ka-26								22																		
Mi-4	2																									
H145M																					2	16	2			
H225M																										16

Láthatón a helikoptereknek a korábbi Magyar Néphadsereg, illetve a Magyar Honvédségen belül is kiemelt szerepük volt és van. Az ország védelmén felül elég csak az elmúlt évek árvízi védekezéseire gondolni. Azt is el kell azonban mondani, hogy az utóbbi években a helikoptercsapatok súlyos helyzetben voltak.



7. ábra

A Magyar Honvédség egyik Mi-8-as helikoptere. Forrás: www.military-today.com/helicopters/mil_mi8_hip_images.htm

Már hosszú ideje kritikusan alacsony volt az üzemképes helikopterek száma. A Mi-24-esek több év pihenőre kényszerültek. Ezenfelül a NATO-csatlakozással megváltozott a magyar légierővel, és ezzel együtt a helikopter csapatokkal szemben támasztott feladat- és követelményrendszer. Örömteli azonban, hogy a Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretében a helikopteres képességek szempontjából jelentős előrelépés történt. 2018-ban megtörtént a Mi-24 helikopterek nagyjavítása és reaktiválása. Ugyanakkor a program ütemezett végrehajtásának megfelelően a Magyar Honvédség 20 darab könnyű, többcélú Airbus H145M típusú (8. ábra), valamint 16 darab H225M típusú közepes, többcélú helikopter beszerzéséről döntött. Az 1. táblázatban ez utóbbiak a 2023-as évhez kerültek, de megjegyzendő, hogy ez a szállítások kezdő éve és az ütemezés még nem ismert.

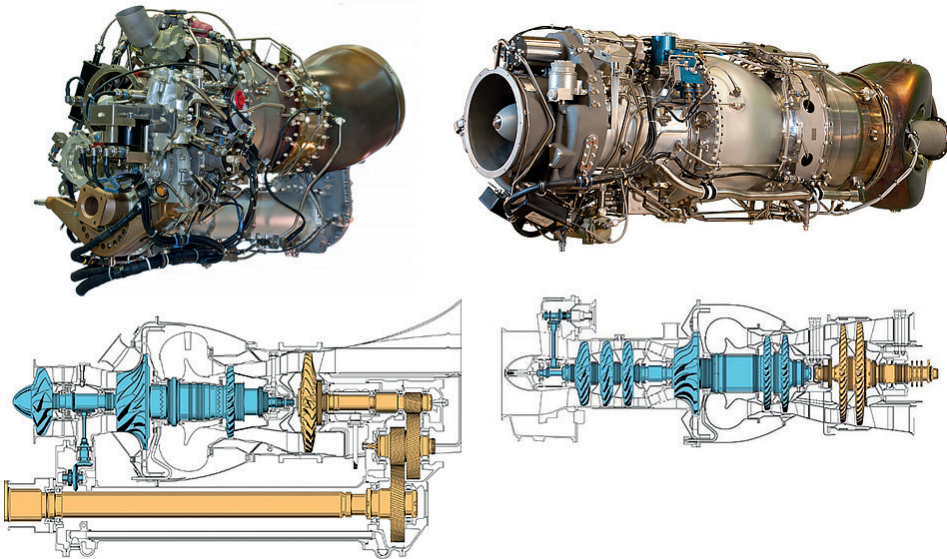


8. ábra

A Magyar Honvédség egyik H145M helikoptere. Forrás: <https://htka.hu/wp-content/uploads/2018/06/H145M-HForce-Bakony.jpg>

Ezek a helikopterek a legmodernebb helikopterek közé tartoznak. Modernné teszik ezeket az eszközöket a fejlett avionikai rendszereik, a kivételes képességű HForce-fegyverrendszer, a fedélzeten lévő precíziós repülésvezérlő és navigációs berendezések, valamint szenzorok. Mindezek a modern eszközök digitális interfészekon keresztül, folyadékkristályos kijelzők segítségével segítik a helikopter személyzetét a feladatok végrehajtásában. A helikopter a kor legmodernebb anyagaiból épül fel, amelyek nem nélkülözik többek között a kompozitanyagokat sem.²²

Mindkét helikopter a Safran Helicopter Engines cég hajtóműveivel (Arriel 2E, illetve a Makila 2A1) van felszerelve kéthajtóműves változatban, amelyek kétcsatornás teljes körű digitális hajtómű-szabályozással (FADEC) vannak ellátva. A 9. ábrán láthatjuk ezeket a hajtóműveket, és egyben a képek és sematikus ábrák mutatják a ma alkalmazott korszerű turboshaft hajtóművek jellegzetes kialakításait.



9. ábra

A bal oldalon Arriel 2E, a jobb oldalon a Makila 2A1 hajtóművek. Forrás: Arriel. Safran, é. n., illetve Makila. Safran, é. n.

Ez a helikopterbeszerzés, illetve a helikopterek rendszerbe állítása hosszú időre megoldhatja a helikopterképességek megtartását a Magyar Honvédségen belül.

²² Réz Levente: A helikopterképesség fejlesztésének aktuális kérdései. *Repüléstudományi Közlemények*, 31. (2019), 3. 77–88.

4. A helikopterek jövője

A két fő riválison kívül más országokban is folyt és folyik harci helikopterek fejlesztése. Említést érdemel az olasz Agusta Westland cég A129 Mangusta helikoptere, a dél-afrikai CSH-2, a francia, német közös fejlesztésben készülő Eurocopter Tiger, a török T129 ATAK, koreai LAH helikopterek (az utóbbi kettő Agusta Westland, illetve Airbus közreműködéssel). Intenzív fejlesztések folynak továbbá a könnyű és közepes többcélú helikopterek területén is.



10. ábra

V-22 Osprey. Forrás: V-22 Osprey. Wikipédia, a szabad enciklopédia. é. n.

Ezek minden szempontból korszerű helikopterek, de szerkezeti struktúrájukban megmaradtak a hagyományos elrendezésnél. Ebből a vonulatból egyedül az Egyesült Államok lépett ki néhány tervezett, illetve rendszerbe állított típussal. Az utóbbi például a V-22 Osprey (10. ábra) dönthető rotoros úgynevezett konvertiplán, amelynél a tervezők szakítottak a konvencionális helikoptertervezési eljárásokkal. A repülőgép ötvözi a helikopterek helyből felszállási képességét a turbólégcsavaros repülőgépek nagyobb sebességével és hatótávolságával. Az újszerű kialakítás, a különleges vezérlési eljárások nagyon megbonyolították és elnyújtották az egyébként nagyon drága és balesetekkel terhelt fejlesztési folyamatot. Ennek megfelelően sokan támadták is a projektet. A gyártó konzorcium (Boeing Rotorcraft Systems és a Bell Helicopter) közben a repülőgép hibáit korrigálta, főleg a repülésvezérlő szoftverek továbbfejlesztésével. A Pentagon összesen 458 gépet szándékozik vásárolni: 360-at a tengerészgyalogság, 48-at a haditengerészet és 50-et a légierő számára. Érdeklődés van, de a külföldi megrendelések nem sokasodnak.²³

Mindenképpen újdonságot jelent és valószínűleg jelentős technológiai ugrást az Egyesült Államok Hadserege által meghirdetett *Army's Future Attack Reconnaissance Aircraft (FARA)* (Hadsereg Jövőbeli Harci Felderítő Repülőgépe) program, ami 2018-ban indult alapvetően a kivonandó Bell OH-58D Kiowa Warrior helikopterek pótlására.

²³ V-22 Osprey. Wikipédia, a szabad enciklopédia. é. n.



11. ábra

Vetélytársak a FARA programban, Sikorsky Raider X (bal) és a Bell 360 Invictus (jobb). Forrás: Dan Parsons: U.S. Army taps Sikorsky Raider X, Bell Invictus for FARA fly-off. Vertical, 2020, illetve Future Attack Reconnaissance Aircraft. Wikipedia, The Free Encyclopedia. é. n.

2020 márciusában a Bell és a Sikorsky cégek ajánlata, Sikorsky Raider X (bal) és a Bell 360 Invictus (jobb), (11. ábra) léphetett tovább a második fázisba, amely a tervek szerint legkésőbb 2023 őszén az összehasonlító tesztrepülésekkel záródna, illetve 2028-ig megtörténne a kiválasztás eldöntve a versenyt a megrendelésért. A gépeknek meg kell felelni néhány alapkövetelménynek, és a cégek bizonyos mértékben hozott anyagból dolgoznak. Minimumkövetelményként a sikeres FARA-jelöltnek bele kell férnie egy 40 × 40 láb méretű (12,2 m) négyzetbe, és minimum 180 csomó (333 km/h) utazósebességet kell teljesítenie. Az erőforrás kötött. Ez a General Electric T901 (GE3000) turboshaft hajtóműve egyhajtóműves elrendezésben, amely a 2200 kW-os kategóriában 2019 februárjában az *Improved Turbine Engine Program* (ITEP) (Továbbfejlesztett Gázturbina Program) nyertese lett. Ezzel a hajtóművel tervezik 2025 után lecserélni 1300 Sikorsky UH-60 Black Hawk és több mint 600 Boeing AH-64 Apache helikopter T700-as hajtóművét is.

További követelmények a FARA-helikopterekkel szemben:

- A helikopternek mini drón indítási lehetőséggel kell rendelkeznie (*Air Launched Effects, ALE*);
- új, nagy hatótávolságú precíziós lőszer (*Long-Range Precision Munition, LRPM*), kezdetben az izraeli Spike-NLOS rakéták alkalmazásának képessége;
- integrált indító rendszerrel kell rendelkeznie (*Integrated Missile Launcher, IML*), ami képes mind a rakéták, mind a drónok indítására;
- biztosítani kell azt az integrált elektronikus platformot, amely által a helikopter nem csak egy légi jármű, hanem komplex fegyverrendszer lesz (*Modular Open Systems Architecture, MOSA*).²⁴

A Bell 360 Invictus alapvetően egy hagyományos helikopter, kicsi szárnyakkal, amely közepes és nagy sebességeknél a felhajtóerő 50%-át képes biztosítani, fly-by-wire rendszerrel és a civil Bell 525 számára kifejlesztett forgószárnyrendszerrel. A Sikorsky Raider-X koaxiális forgószárnyal és egy tolócsavarral felszerelt összetett helikopter, amely a Sikorsky S-97 Raiderből lett továbbfejlesztve.

²⁴ Parsons (2020) i. m.

Ez utóbbi helikopter kétségtelenül gyorsabb lesz, de lehet, hogy a történelem megismétli önmagát, és mint 1966 márciusában a Bell Model 209-es rendszerítése mellett döntöttek AH-1G Huey Cobra néven a Lockheed AH-56 Cheyenne ellenében, amely már akkor a fenti tololégcsavaras elrendezéssel készült. A Bell részére az egyszerűség sikert hozott, és az AAFSS (*Advanced Aerial Fire Support System*) program 1972-es törlésével a Cobra hosszú ideig egyeduralkodóvá vált ebben a kategóriában.

5. Összefoglaló

A vezető katonai hatalmaknál a helikopterek alkalmazása az 1950-es években kezdődött. A helyi háborúk tapasztalatai (Korea, Algéria, Vietnám, Közel-Kelet stb.) maguktól kínálták az egyre újabb és újabb felhasználási lehetőségeket, a forgószárnyas repülőeszközök specializációját, illetve számuk rohamos növekedését.

A két legsúlyosabb konfliktust (az USA vietnámi és a Szovjetunió afganisztáni háborúját) figyelembe véve, mindkét részt vevő nagyhatalom vesztesen távozott egy olyan háborúból, ahol döntő szerepet játszottak a helikopterek. Ezt mégsem tekinthetjük a fegyvernem kudarcának. A háborúk tapasztalatai inkább megerősítették a fejlesztések szükségességét, aminek eredményeként 1968 tavaszán megszületett (mindössze 6 hónapos fejlesztés után!) az első, mai értelemben vett harci helikopter, az AH-1. A vele nyert kedvező tapasztalatok nyomán vált lehetővé e csapásmérő harceszköz napjainkig is tartó töretlen fejlődése. Ezek a helikopterek hatékony fegyverzetükkel átformálták a szárazföldi hadviselés elveit, és várhatóan a jövő hadseregeiben is jelentős szerepet fognak játszani. Így napjainkban egy korszerű haderő légiereje elképzelhetetlen a kor kívánalmainak megfelelő harci és szállító helikopterek nélkül.

Felhasznált irodalom

- Arriel. Safran, é. n. Online: www.safran-helicopter-engines.com/helicopter-engines/lower-1000-shp/arriel
- Asboth A-4 1928. é. n. Online: www.aviastar.org/helicopters_eng/asboth.php
- Dickens, Fred W. – Tommy Thomason: *Achieving Helicopter Modernization with Advanced Technology Turbine Engines*. Defence Technical Information Center Compilation Part Notice, April 1999.
- Dougherty, Kevin J.: The Evolution of Air Assault. *Joint Force Quarterly*, (1999), August, 51–58.
- Flying Quotes of All Kinds*. Skygod, é. n. Online: www.skygod.com/quotes/predictions.html
- Freedberg Jr., Sydney J.: *FVL: The Army's 10-Year Plan For FARA Scout*. Breaking Defense, 2020. Online: <https://breakingdefense.com/2020/03/fvl-the-armys-10-year-plan-for-fara-scout/>
- Future Attack Reconnaissance Aircraft*. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Future_Attack_Reconnaissance_Aircraft
- Gion Gábor: Mentőangyalok. *Top Gun*, 10. (1999), 10. 16–20. Ferenczy Könyv és Lapkiadó.
- Horváth Zoltán: Szárnyas kigyók, Bell AH-1 Huey Cobra. *Top Gun*, (1995), március, 39–43.
- Makila. Safran, é. n. Online: www.safran-helicopter-engines.com/helicopter-engines/over-2000-shp/makila

- Óvári Gyula: Korszerű csapásmérő helikopterek harcászati-technikai jellemzői, alkalmazási lehetőségei. *Katonai Logisztika*, 8. (2000), 2. 147–180.
- Parsons, Dan: *U.S. Army taps Sikorsky Raider X, Bell Invictus for FARA fly-off*. Vertical, 2020. Online: www.verticalmag.com/news/fara-sikorsky-bell/
- Petróczy-Kármán-Zurovec PKZ-2 1918. Online: www.aviastar.org/helicopters_eng/petroczy.php
- Pokorádi László: A helikopteres repülés első 100 (?) éve. *Debreceni Szemle*, 17. (2009), 1. 3–18.
- Réz Levente: A helikopterképesség fejlesztésének aktuális kérdései. *Repüléstudományi Közlemények*, 31. (2019), 3. 77–88. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.3.460>
- Új helikoptertípus, új évtized, új korszak – Rendszerbe áll a H145M. Harcihelikopter blog, 2020. Online: https://harcihelikopter.blog.hu/2020/01/02/uj_helikoptertipus_uj_evtized_uj_korszak_rendszerbe_all_a_h145m
- V-22 Osprey. Wikipédia, a szabad enciklopédia. é. n. Online: https://hu.wikipedia.org/wiki/V%E2%80%9322_Osprey
- Vought-Sikorsky VS-300. Online: www.aviastar.org/helicopters_eng/sik_vs-300.php
www.globalsecurity.org/military//systems//aircraft//rotary.htm
www.azquotes.com/quote/723488
<https://ndupress.ndu.edu/portals/68/Documents/jfq/jfq-22.pdf>
www.helis.com/database/model/AH-1G-Cobra/+bell%20ah-1g%20cobra?filc=ES
www.airforce-technology.com/projects/ka52-alligator-attack-helicopter-russia/
<https://magyartudat.com/visszaerkeztek-oroszorszagbol-mi-24-es-harci-helikoptereink/>
www.military-today.com/helicopters/bellboeing_v_22_osprey_images.htm
www.military-today.com/helicopters/mil_mi8_hip_images.htm
<https://htka.hu/wp-content/uploads/2018/06/H145M-HForce-Bakony.jpg>



Szalkai István¹ – Ercsey Tamás Zsolt² – Szép Károly³

A pilóta nélküli légi járművek jövőbeli alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata

A szerzők kutatásukban a pilóta nélküli légi járművek közszolgálati, illetve közszolgáltatási területen történő alkalmazhatóságát vizsgálják. Kitértek az eddigi alkalmazási területek vizsgálata mellett a jövőbeni alkalmazási területek trendeken nyugvó lehetőségeire is. Fő kérdésként arra keresték a választ, hogy melyek azok a kritikus infrastruktúrák vagy egyéb kiemelt célterületek, amelyek a pilóta nélküli légi járművekkel (UAV) üzemszerűen felügyelhetők, a mindennapi üzemeltetést támogatni tudják. A vizsgálat eredményeként célterületként azonosították a fotovoltaikus naperőműveket, az energiatermelésben részt vevő létesítményeket, illetve a hulladékgazdálkodási területet is. Előbbiek kiváló teszterületei lehetnek a pilóta nélküli légi járművek üzemeltetésben és távfelügyeletben betöltött funkcióinak.

Kulcsszavak: pilóta nélküli légi jármű, energiatermelés, naperőmű, hulladékgazdálkodás

Investigation of Future Applications of Unmanned Aerial Vehicles

In this paper the authors examine the applicability of unmanned aerial vehicles in the field of public service. In addition to the examination of the application areas so far, the possibilities of the future application areas based on trends are also discussed. The main research question was to find out which critical infrastructures, or other priority areas can be operationally monitored by unmanned aerial vehicles (UAVs) to support day-to-day operations. As a result of the study, photovoltaic solar power plants, facilities involved in energy production and the waste management area were also identified as target areas. The former can be excellent test areas for the operational and remote monitoring functions of unmanned aerial vehicles.

Keywords: unmanned aerial vehicle, energy production, solar power plant, waste management

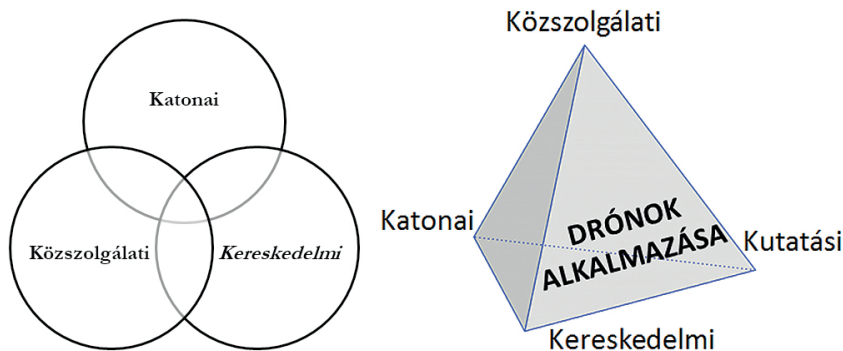
¹ Doktoranduszhallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: istvan.szalkai.dr@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4667-9525>

² Ügyvezető, Site B Labs Kft., e-mail: tamas.ercsey@siteblabs.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8865-0849>

³ Doktoranduszhallgató, Pannon Egyetem Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola, e-mail: karoly.szep@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0213-9458>

1. Bevezetés

A pilóta nélküli légi járművek vagy légi jármű-rendszerek (*Unmanned Aerial Vehicle*, vagy *Unmanned Aerial Systems*, UAV) alkalmazási területe egyre dinamikusabban fejlődik, amelyek esetében megkülönböztethetünk katonai és nem katonai célú alkalmazást.⁴ A nem katonai célú felhasználásokat alapvetően két csoportra oszthatjuk: egyrészt az állami szervek, szervezetek közszolgálati célú, valamint a versenypiaci vállalatok kereskedelmi célú felhasználásaira. Az alkalmazások kezdőbetűiből Restás megalkotta az alkalmazások úgynevezett 3K modelljét,⁵ amelyet a kutatási, illetve a képzési célú alkalmazásokkal kiegészítve a 4K vagy 5K modellt kapjuk.⁶ A legegyszerűbb felosztás alapján tehát három fő kategóriát alkothatunk: katonait, közszolgálatit és kereskedelmit.



1. ábra

Az UAV felhasználás 3K modellje Venn-diagram megjelenítéssel (bal) és a 4K modell (jobb). Forrás: Restás (2017) i. m., illetve a szerzők szerkesztése

A három beazonosított fő terület között természetesen lehetnek átmenetek, közös területek is. Ilyen eset például, amikor kritikus infrastruktúra, például közcélú villamosenergia-hálózatra termelő naperőművek, energiatermelő létesítmények vizsgálatáról, üzembiztonságáról vagy tűzbiztonságáról van szó. Ezeket az energiatermelőket civil vállalatok tervezik és kivitelezik az aktuális szabványok és előírások szerint, majd adják át üzemeltetésre és karbantartásra a megfelelő társaságoknak. Ebben a cikkben a szerzők a példa alapján is látható közös területek innovációs lehetőségeire, a már meglévő technológiákban rejlő innovációs potenciálra fókuszálnak, elvégezve elsőként a téma újdonságkutatását, majd a nemzetközi tanulmányokban fellelhető logikai és ok-okozati kapcsolatok feltárását.

⁴ Palik Máttyás (szerk): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013.

⁵ Restás Ágoston: Az UAV közszolgálati alkalmazásai. In Palik Máttyás (szerk.): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. 241–280.

⁶ Restás Ágoston: A drónok közszolgálati alkalmazásának lehetőségei. *Új Magyar Közigazgatás*, 10. (2017), 3. 48–62.

2. A kutatás célkitűzése és módszertana

2.1. A kutatás célkitűzése

A vizsgálattal az volt a célunk, hogy igazoljuk az általunk kutatott téma aktualitását és újdonságtartalmát, tehát azt, hogy a terület részben feltáratlan, illetve új kutatható témáról és lehetőségről van szó. További célkitűzésként fogalmazódott meg, hogy a közeli jövőben a kritikus infrastruktúrák üzemeltetési és karbantartási ellenőrzését végző eszközökkel kapcsolatos legaktuálisabb kutatások és tématerületek feltárását elvégezzük, beazonosítsuk azokat a szakmai műhelyeket, szakembereket, akik ezzel a témával foglalkoztak vagy foglalkoznak.

2.2. A kutatás módszertana

A nemzetközi alkalmazási trendek vizsgálata során az UAV-k különböző üzemek karbantartásánál történő segítségnyújtási lehetőségeire fókuszáltunk. A vizsgálat alapját a Google Scholar⁷ adatbázis forrásai biztosították. Kutatási módszerként a tudományos publikációkban szereplő hálózati kapcsolatok vizsgálata mellett a Harzing's Publish or Perish,⁸ illetve a VOSviewer⁹ programok segítségével történő sűrűségvizsgálatokat választottuk. A fentiek az általános kutatási módszerek közé tartoznak, így alkalmasnak találtuk őket a vizsgálataink elvégzéséhez.

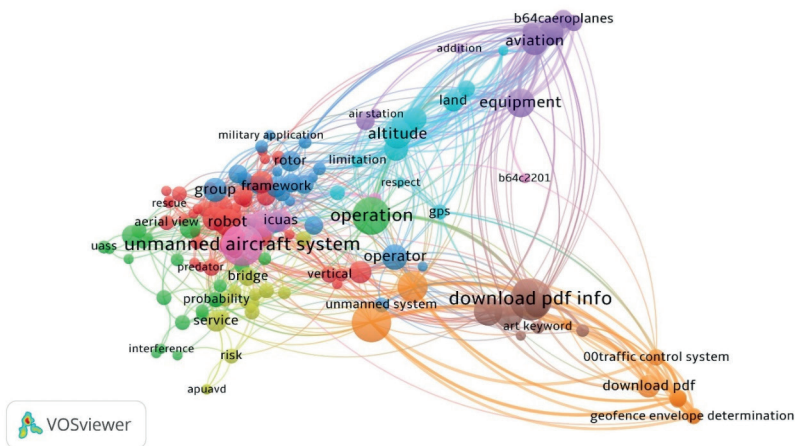
2.3. A kutatási adatbázis vizsgálata és eredményei

A Google Scholar segítségével mintegy 400 tanulmány és 19 672 idézet vizsgálatát és elemzését végeztük el. Első alkalommal az összes tanulmány és idézet vizsgálatát lefuttattuk a Harzing's Publish or Perish programmal, azonban a releváns témába illeszkedő találatokat – a vizsgált technológia megjelenését és fejlődését is figyelembe véve – 2010 és 2020 közötti időszakra azonosítottuk, így egy már tisztítottabb vizsgálati adathalmazból indultunk ki, megállapításainkat ezekből vezettük le. A vizsgálat nemzetközi relevanciája érdekében a kifejezések angol nyelvű változataival dolgoztunk. A Google Scholar adatbázisban lévő tanulmányok szókapcsolati vizsgálatából (2. ábra) a tanulmányokban leginkább az *aerial vehicle* (légi jármű), *operation* (irányítás), *aviation* (repülés), *altitude* (magasság), valamint az *unmanned system* (pilóta nélküli rendszer) szavak csomópontokként jelentek meg. A többi kifejezés ezekhez a csomópontokhoz kapcsolódik. Fontosabb kisebb csomópontokként megjelenő kifejezések: *equipment* (felszerelés), *robot* (robot), *operator* (irányító), *service* (szolgáltatás), valamint megjelenik a *risk* (kockázat) és *framework* (szerkezet) is csomópontként.

⁷ Google Scholar.

⁸ Anne-Wil Harzing: *Publish or Perish*. Harzing, 2016.

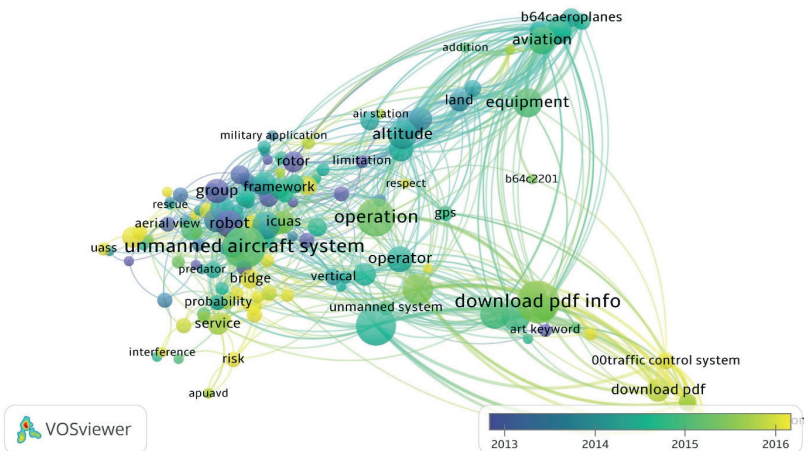
⁹ VOSviewer Visualizing scientific landscapes.



2. ábra.

Szókapcsolati hálózatelemzés *unmanned aerial vehicles using for maintenance* kulcsszavakra a Google Scholar adatbázisban található 2010–2020 közötti tanulmányokban (2020. 07. 03.). Forrás: a szerzők kutatása alapján

A kapcsolatok időbeliségét vizsgálva a kezdeti főbb csomópontok is kirajzolódnak, amelyek a vizsgált időszakban a főbb kapcsolódásokat jelentik. Ezek a *robot* (robot), *group* (csoport), *rotor* (rotor), *aerial robot* (légi robot), amelyet a *b64 aircraft* (b64 repülőgép), *rotor* (rotor), *group* (csoport), *altitude* (magasság), *operator* (irányító), *download pdf info* (letölthető pdf információ) és *traffic control* (forgalomirányítás) csomópontok követnek.

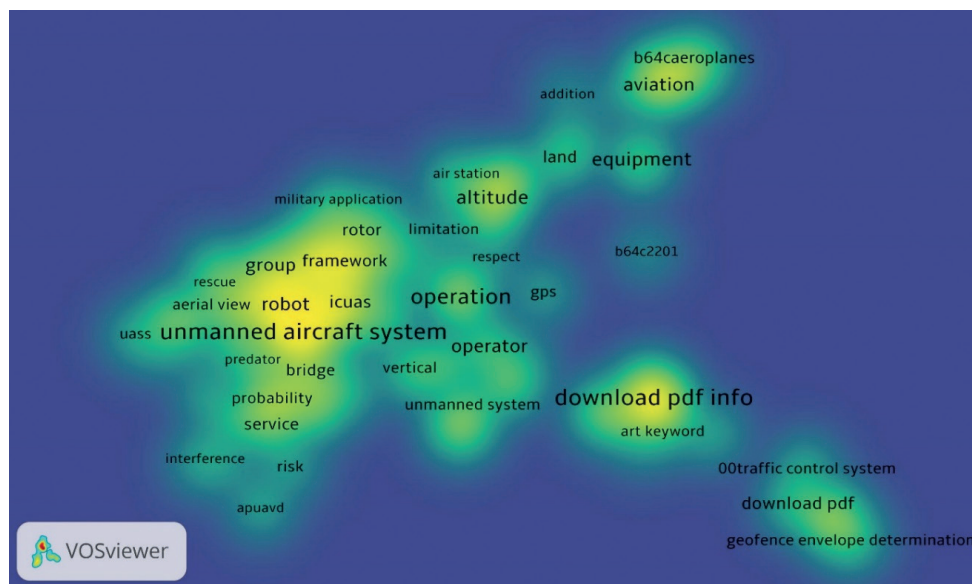


3. ábra.

Szókapcsolati hálózatelemzés az időbeli átfedtség vonatkozásában az *unmanned aerial vehicles using for maintenance* kulcsszavakra a Google Scholar adatbázisban található 2010–2020 közötti tanulmányokban (2020. 07. 03.). Forrás: a szerzők kutatása alapján

Az időrendben a vizsgált időszak végén megjelenő legfontosabb kulcsszavak *single aircraft* (repülőgép), *geofence envelope determination* (földrajzi helymeghatározás), *service* (szolgáltatás), *unmanned system* (pilóta nélküli rendszer) és *civil infrastructure* (polgári létesítmény). Ez utóbbiak igazolják azt a feltételezésünket, hogy az utóbbi időben felértékelődött mind a polgári létesítményeknél, mind pedig a légi fényképezésben a pilóta nélküli légi járművek szerepe. A trendeket, a technológiai és az ipari fejlődés dinamikáját is figyelembe véve hamarosan újabb markáns csomópontok megjelenése várható, amelyek az általunk előrevetített irányokba is eljuthatnak.

A VOSviewer alkalmazással lefutott szókapcsolatokon alapuló sűrűségvizsgálatból kitévnik (4. ábra), hogy a folyamat elején ezeket a berendezéseket úgynevezett *egyedi légi járműveknek* nevezték, illetve kiemelt szerepet kapott ugyanekkor a *földrajzi helymeghatározás*, azaz a mobil mozgó eszközzel történő helymeghatározás, illetve a *közlekedési rendszerek* is. Csomópontokként jelennek meg a *repülés*, a *b64 repülőgép* és természetesen a *pilóta nélküli rendszer* kifejezések. Fontos megemlíteni a *katonai alkalmazás*, a *leírás* és a *légi anyag* kifejezéseket, amelyek mellett az *operátor* (irányító) kifejezés is megjelenik. A kapcsolati hálón egy nagy halmaz, 4–5 közepes és további 6–7 kisebb önálló sziget jelenik meg. Azonban, egyik helyen sem jelenik meg a sűrűségvizsgálatban a *maintenance* kifejezés, amely az üzemeltetéssel kapcsolatos felhasználásnak az alacsonyabb szintű feltárását mutatja, igazolva feltevésünket, hogy a téma aktualitásának és újszerűségének van relevanciája.



4. ábra

Szókapcsolati sűrűségvizsgálat az *unmanned aerial vehicles using for maintenance* kulcsszavakra a Google Scholar adatbázisban található 2010–2020 közötti tanulmányokban (2020. 07. 03). Forrás: a szerzők kutatása alapján

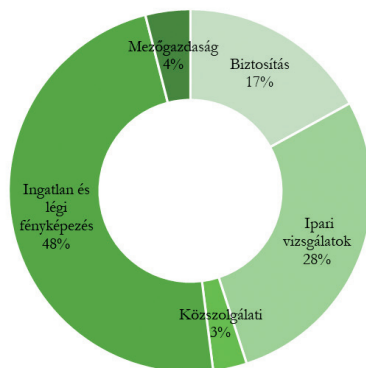
Az előbbi megállapításunkat az is alátámasztja, hogy a WIPO¹⁰ adatbázisa az „*unmanned aerial vehicle for using for maintenance*” kifejezésre nem adott találatot. A vizsgálatot tovább folytattuk az „*uav maintenance*” kifejezésre, amelyre kettő, az Egyesült Államokban bejegyzett szabadalmat találtunk. Az első a 20050045768-ös publikációs számú szabadalom, amely egy üzemanyagotöltő berendezés hatékonyabb működtetésére irányul (2005). A második szabadalom egy kiterjesztett valóságon alapuló platform és eljárás, amelyet a hajózásban és a szabadalom alapján más hologramtechnológiával ötvözhető megjelenítési eljárásban is alkalmazni lehet. Az SZTNH¹¹ adatbázisában elvégzett keresés alapján egy kapcsolódó eredményt találtunk, amelyet 7322-es lajstromszámon 2018. november 20-án az úgynevezett önkéntes mű nyilvántartásba vettek fel, Gossmann Gábor András neve alatt Drón (madár) távlati nézet digitális térképekhez és baleseti feltáráshoz.

A fentiek alapján megállapítjuk, hogy az elvégzett újdonság és trendkutatás alapján, a kutatás lezárásának időpontjában a pilóta nélküli légi járművek üzemeltetési alkalmazása területén bejegyzett szabadalom a WIPO és az SZTNH adatbázisában nem lelhető fel.

3. Az innováció ösztönzői

3.1. Az alkalmazás iránti igények

A fentiekkel azt is igazoltuk, hogy az utóbbi évtizedben nagyon dinamikus fejlődésen mentek keresztül az UAV-k – a hétköznapi életben gyakran drónoknak nevezve őket – többnyire a polgári szektorban megjelenő igények miatt, amit a jövőre kivetítve az 5. ábra szemléltet. A fejlődési folyamatot indukáló alkalmazási célok közül kiemelhető az ipari és környezeti monitoring-rendszerek felügyelete, a kibocsátásvizsgálatok, valamint a kritikusinfrastruktúra-rendszerek távfelügyelete, például a kikötők és az iparterületek biztonságvédelme.



5. ábra

Kereskedelmi drónok használatának megoszlása az Egyesült Államokban 2018. Forrás: www2.deloitte.com/us/en/pages/financial-services/articles/infocus-drone-use-by-insurance-industry-flying-higher-farther.html alapján a szerzők szerkesztése

¹⁰ World Intellectual Property Organisation.

¹¹ Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala.

Az UAV-k térhódításának az információgyűjtés hatékonysága volt az elsődleges hajtóereje, ezáltal a technológiai fejlesztések is ezt az irányt követték. A légi fotók és videók készítése a teljes kereskedelmi felhasználás közel felét teszik ki, és jellemzően ingatlanokat, mezőgazdasági, ipari vagy a környezetvédelem szempontjából kiemelten kezelt területeket dokumentálnak. Ebből a magas technológiai szintű kiforrottságból is következett a gyors alkalmazásuk a Covid-19-pandémia során, amelynek egy nemzetközi és egy hazai példáját mutatja a 6. ábra.



6. ábra

UAV-k közszolgálati alkalmazása: olasz (Torinó, 2020. április) rendőrségi alkalmazás a Covid-19-korlátozások lakossági ellenőrzésére (bal), illetve fertőtlenítés a Fővárosi Közterület-fenntartó Zártkörűen Működő Nonprofit Részvénytársaság telephelyén (jobb). Forrás: Birgit Schippers: Coronavirus: drones used to enforce lockdown pose a real threat to our civil liberties. The Conversation, 2020, illetve a szerző felvétele

Az ipari alkalmazásban is az elemzéseket és előrejelzéseket megalapozó adatgyűjtésnek van a legnagyobb jelentősége. Kiemelt jelentőségű lehet például az olaj- és gázipar a magas szintű biztonsági előírásai miatt. Ebben az esetben a veszélyes üzem humán kockázatainak csökkentése és a leállási idők rövidítése az elsődleges szempont. Az UAV a költséges és időigényes állványozási technika, valamint a veszélyes anyagok eltávolításának a kivárása nélkül is képes lehet elvégezni szenzoraival a kötelező vizsgálatok során az adatgyűjtési feladatokat. A gyűjtött adatok mennyisége és minősége is meghatározza, hogy mekkora értéket képvisel az UAV egy-egy ipari alkalmazásban. Ebből az okból, az eszközre illeszthető szenzorok, és kommunikációs rendszerek is jelentősen felértékelődnek, az energiatárolók és a fedélzeti elektronika fejlődésével pedig nagyobb repülési idővel és jelentős autonóm funkciókkal rendelkeznek.

A katonai felhasználású fejlesztésektől a kereskedelmi célú fejlesztések abban térnek el, hogy az utóbbiak az általános célú, bizonyos kulcsparaméterű eszközök létrehozása helyett egy-egy szűk felhasználási módra koncentrálnak, és azokat a kulcsfunkciókat valósítják meg, amelyek már rövid távon is piacképes termékhez vezetnek. Várhatóan a jövőben jelentősen nő a kereskedelmi felhasználásból érkező közszolgálati igényekre alapozott implementációk száma, amely nem új technológiát alkalmaz egy-egy közszolgálati szolgáltatásra, hanem hasonló kereskedelmi feladat megoldását, funkcióját alkalmazza közcélra. Ebből kifolyólag ahhoz, hogy megértsük, milyen innovációs tartalék van a közszolgálati területen, vizsgálnunk kell az 1. ábrán látható Venn-diagram alapján a kereskedelmi és a kereskedelmi-közszolgálati felhasználási módokat.

A szerzők megítélése alapján a kereskedelmi felhasználás bővülésének két fő iránya van. Egyrészt, az ipari adatgyűjtés innovációja zajlik azon problémák megoldásával, ahol az adatgyűjtés eddig nehéz vagy lehetetlen feladat volt adott műszaki-gazdasági korlátok mellett.

Ilyenek, például az olaj- és gázipari mérések digitalizációja, vagy a különböző „okos város” koncepciókon belüli alkalmazási területek. A big data elemzésekből kinyerhető tendenciákra építő előrejelzések szinte korlátlan lehetőséget biztosítanak a rendszeres és idősoros adatfelvételekből, sőt bizonyos esetekben a mesterséges intelligencia (AI) alkalmazása is felmerül. Így, a korábbiakhoz képest az olcsóbb, megbízhatóbb és hatékonyabb rendszeres adatgyűjtés mint folyamat rendkívül felértékelődött.

Más esetekben, a repülésügyi szempontok szerinti feltételek azok, amelyek sokkal kedvezőbbek a meglévő megoldásokhoz képest. Ilyen szempont például a károsanyag-kibocsátás csökkentése vagy az emberi hibák kiszűrése. Szállítási és légi inspekciós feladatokban számos jövőbeli előnyt jelenthetnek az UAV-megoldások implementálásai. Az energetikában és a mezőgazdaságban már korábban is jelentős szerepet kaptak a légi járművek. Ha az adott szektor már előzetesen alkalmazkodott a követelményekhez, akkor az UAV-k viszonylag könnyen munkába állhattak. Ebből arra következtetünk, hogy a közszolgálatban, a légi járműveket már alkalmazó szegmensek könnyebben bevonhatók az UAV-k felhasználását célzó innovációs projektekbe. Kiváló példa lehet erre a hőkamerák közcélú alkalmazásának esetei (7. ábra).



7. ábra

Energetikai célú FLIR hőkamerás Diamond DA42 MPP Guardian a 2012-évi Londoni Olimpiai Játékok közszolgálati feladatait segíti. A képen jól kivehető a gép orra alá szerelt összetett kamerarendszer. Forrás: Anita Lentsch: Diamond Aircraft's special mission platform DA42 MPP supports Olympic Games in London. Diamond Aircraft Industries, 2012.

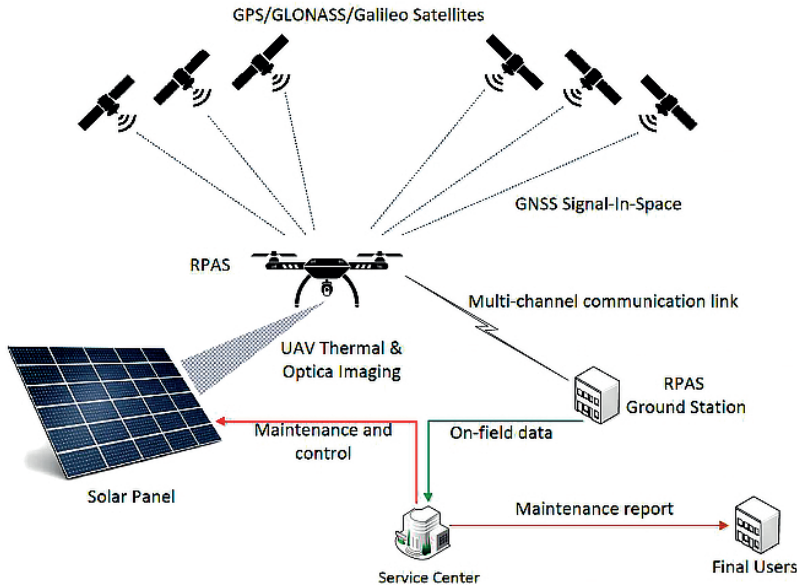
3.2. Az UAV-k autonómiájának fejlődési iránya

A felügyeletre alkalmazott UAV-k terjedése nagyon szembetűnő. Az ilyen feladatokra a legelterjedtebb esetben az úgynevezett kooperatív UAV-eket alkalmazzák, mint például mobil inspekciós szenzoros, képi rögzítő eszközöket. Az ilyen feladatoknál az üzemeltető elszállítja a repülőeszközt a célterületre, megtervezi az adott feladatot, majd kézi vezérléssel irányítva az UAV-t lerepüli vele a megtervezett útvonalat. Jellemzően ilyen feladatot jelentenek

a különböző légi fényképek és videók készítése. Ezek egyedi vagy többnyire egyszeri feladatok végrehajtását jelentik.

Második alkalmazási csoportba az olyan kereskedelmi gyakorlatok tartoznak, ahol előre tervezetten, szoftveresen programozott, konfigurált eszközök telepítése és alkalmazása történik. Ebben az esetben az UAV képes autonóm vagy félautonóm repülésre, illetve így fogja az előre beprogramozott feladatát végrehajtani. A félautonóm rendszerek képesek különböző (GPS/GLONASS/Galileo) helymeghatározó rendszerek adatait felhasználva korlátozni mind a repülhető területet, mind a repülési magasságot és sebességet. A kézzel vezérelt korábbi repülések nyomvonalát a rendszer képes újra lerepülni, ekkor már önállóan, vagy az előre megadott lokációkat végigpásztázva. Az operátor szaktudása természetesen elengedhetetlen a repülési útvonalak rögzítéséhez, helyes konfigurálásához, azonban a helyszínen tartózkodása ez utóbbi esetben már szükségtelen, sőt esetleg a távoli felügyelete is egyre kisebb mértékben szükséges az üzemeltetéshez. Tipikusan ilyen megoldásokat telepítenek az olaj- és gázipari kivitelezési munkálatok monitoringfeladataira, kikötők és ipari parkok felügyeletére is. Általánosan kimondható, hogy ezen felhasználások egyszerre szolgálják az üzleti intelligencia igényének versenyképes kielégítését, valamint a biztonságvédelmi feladatokat.

Létezik egy harmadik, úgynevezett vegyes megoldás is, amelyben távolról átvehető az UAV vezérlése. Ebben az esetben az autonóm repülés képessége meghatározó arra az esetre, ha megszűnik az operátor és az UAV közötti adatkapcsolat. Ugyanakkor autonóm repülés közben is kerülhet olyan helyzetbe vagy állapotba az eszköz, hogy kézi vezérlésre, operátori beavatkozásra is szükség lehet. Az új kommunikációs technológiák, mint például az 5G és a redundáns hálózatok kiépítése ezen esetek nehézségeinek lebontását is várhatóan elhozzák.



8. ábra

Az UAV kommunikációs hálózatának egy elvi ábrája napelemparkok vizsgálatához. Forrás: Pia Addabbo et al.: A UAV infrared measurement approach for defect detection in photovoltaic plants. 2017 IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace). Padua, 2017. 345–350.

Az utóbbi két esetben közös jellemző, hogy meg kell oldani az UAV telephelyen való töltését, lehetőség szerint ezt is részben vagy teljesen automatizáltan. Így a terepi állomásnak képesnek kell lennie az eszköz biztonságos tárolására, repülésre kész állapotban tartására, a fel- és leszállást lehetővé tevő speciális platform működtetésére. A technológia itt is gyorsan fejlődik, a korábbi kezdetleges megoldások ma már akár magas üzembiztonsággal működő platformokat is képesek biztosítani.¹²

4. Következtetések

A kutatás kereteihez a pilóta nélküli repülőgépek különböző alkalmazási lehetőségeit vetjük alapul, amelyen belül a kereskedelmi és a közszolgálati célú alkalmazásokat helyeztük a fókuszba. A kutatás elején elvégzett különböző szókapcsolati és sűrűségvizsgálatokkal rámutattunk a pilóta nélküli repülőgépek elmúlt évtizedben terjedő alkalmazásaira, amelyhez tudományos cikkek adatbázisait használtuk fel. Ezen belül rámutattunk arra, hogy az eddigi kereskedelmi célú alkalmazások tendenciáit látva várhatóan a különböző célú közszolgálati alkalmazások is dinamikusan fognak terjedni a jövőben. A közszolgálati alkalmazások lehetőségeinél a kereskedelmi alkalmazások adaptációjának lehetőségével számolunk. Áttekintettük a különböző alkalmazási elveket is, így láthattuk, hogy az UAV-k autonóm repülési képessége jelentősen kiterjeszti az alkalmazás lehetőségeit. A közszolgálati alkalmazások egyik sajátos formája a közszolgáltatások biztosítása, amely magában foglalja a kritikus infrastruktúra üzembiztos működtetését is. A fenti, különböző szempontrendszerek figyelembevételével arra a következtetésre jutottunk, hogy az UAV-k kiválóan alkalmazhatók az energiaszektorban, így például a fotovoltai naperőműparkok üzembiztos működésének biztosításához az ellenőrzés során, vagy akár a hulladékgazdálkodás területén is a szennyező források beazonosítására, vagy a szennyezés mértékének meghatározására. A fentiek lehetőséget biztosítanak számos innovatív fejlesztésre, de ugyanígy a profitorientált fejlesztések kiterjesztéséhez, vagy akár az oktatás, képzés elősegítéséhez is.

Felhasznált irodalom

- Addabbo, Pia – Giustino Fortunato – Antonio Angrisano – Mario Luca Bernardi – Graziano Gagliarde – Alberto Mennella – Marco Nisi – Silvia Ullo: A UAV infrared measurement approach for defect detection in photovoltaic plants. *2017 IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)*. Padua, 2017. 345–350. Online: <https://doi.org/10.1109/MetroAeroSpace.2017.7999594>
- Davies, Lee – Robert C. Bolam – Yuriy Vagapov – Alecksey Anuchin: Review of Unmanned Aircraft System Technologies to Enable Beyond Visual Line of Sight (BVLOS) Operations. In *Proceedings of X. International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS)*. 2018. Online: <https://doi.org/10.1109/ICEPDS.2018.8571665>
- Google Scholar, Nyílt hozzáférésű kutatói adatbázis. Online: <https://scholar.google.com>

¹² Lee Davies et al.: Review of Unmanned Aircraft System Technologies to Enable Beyond Visual Line of Sight (BVLOS) Operations. In *Proceedings of X. International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS)*. 2018.

- Harzing, Anne-Wil: *Publish of Parish*. Harzing, 2016. Online: <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>
- Lentsch, Anita: *Diamond Aircraft's special mission platform DA42 MPP supports Olympic Games in London*. Diamond Aircraft Industries, 2012. Online: www.diamondaircraft.com/en/about-diamond/newsroom/news/article/diamond-aircrafts-special-mission-platform-da42-mpp-supports-olympic-games-in-london/
- Palik Mátyás (szerk): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Budapest, Nemzeti Közzolgálati Egyetem, 2013.
- Restás Ágoston: A drónok közzolgálati alkalmazásának lehetőségei. *Új Magyar Közigazgatás*, 10. (2017), 3. 48–62.
- Restás Ágoston: Az UAV közzolgálati alkalmazásai. In Palik Mátyás (szerk.): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Budapest, Nemzeti Közzolgálati Egyetem, 2013. 241–280.
- Schippers, Birgit: *Coronavirus: drones used to enforce lockdown pose a real threat to our civil liberties*. The Conversation, 2020. Online: <https://theconversation.com/coronavirus-drones-used-to-enforce-lockdown-pose-a-real-threat-to-our-civil-liberties-138058>
- Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala. Online: www.sztnh.gov.hu/hu
- VOSviewer Visualizing scientific landscapes. Nyílt hozzáférésű kutatói adatbázis. Online: www.vosviewer.com/
- World Intellectual Property Organisation, Nyílt hozzáférésű adatbázis. Online: www.wipo.int/portal/en/index.html



Dudás Zoltán¹

A leggyakoribb hibák a légi közlekedésben

A Piszkos Tizenkettő

Az emberi hiba kezelésének módja a biztonságkultúra jellegzetessége. A gyakori hibatípusok a repülésbiztonságot bemutató elméleti modellek (Reason; SHEL[L]; SRK) mindegyike számára értelmezhetők. A modellek azonban teljes egészében nem adnak kielégítő választ az emberi hiba természetére. A biztonságfilozófia emberi tényezőt érintő elemeinek feltárására a szerző a Transport Canada² tipikus emberi hibákat felsoroló „Piszkos Tizenkettő” koncepcióját mutatja be.

Kulcsszavak: emberi tényező, emberi hiba, Reason-modell, SHEL(L) modell, SRK modell, emberi tényező, Piszkos Tizenkettő

The Most Frequent Human Errors in Aviation

The Dirty Dozen

The way human error is treated is always a key feature of the existing safety culture. Common errors in aviation is a subject of theoretical models as the Reason, the SHEL(L) and the SRK. These models cannot explain the full nature of errors though. So as to reveal the safety philosophy of HF the author introduces Air Transport Canada's concept called Dirty Dozen.

Keywords: human factor, human error, Reason model, SHE(L) model, SRK model, Dirty Dozen of HF

1. Bevezetés

A hiba része minden emberi tevékenységnek, így ez a biztonságra különösen érzékeny rendszerek, mint a légi közlekedés esetében sincs másként. A nagy kockázatú rendszerekben, mint a légi közlekedés vagy az atomenergetika kimutatható, hogy a fejlett és megbízható technológiákat üzemeltető emberi elem gyakran hozzájárul a kritikus események bekövetkezéséhez. Ami ilyen esetben történik, azt rendszerint emberi hibaként azonosítják.

¹ Adjunktus, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülőhajózó Tanszék, e-mail: dudas.zoltan@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8682-884X>

² A szállítmányozás területén a biztonságért és védelemért, valamint a hatékonyságért és környezettudatosságért felelős kanadai állami szerv.

2. Az emberi hiba megítélése a légi közlekedésben

A hibák következménye a legtöbb esetben az, hogy a tevékenység – jelen esetben a repülés – kimenetele valamilyen mértékben eltér a normálistól. Amikor az emberi hibát a repülés rendszerében vizsgáljuk, tulajdonképp az emberi tényező szerepét, vagyis a repülésbiztonsághoz való hozzájárulását érdemes áttekintenünk. A repülésbiztonság rendszerének hatékonysága a megelőzés eredményességében mérhető le. Mérése összetett feladat, hiszen az valami hiányának, ez esetben a légi közlekedési események hiányának, egyben az emberi hibák hiányának a számszerűsítését jelenti. A repülésbiztonsági teljesítményt, azaz a megelőzés eredményességét a bekövetkezett légi közlekedési események számát illusztráló teljesítménymutatók csupán ezt a hiányt képesek kimutatni, ezért a repülésbiztonsági teljesítménycélok teljesülését is célszerű vizsgálni.³

Mindkét mérési objektum megítélése nagyban támaszkodik a statisztika eszköztárára. Ezek alapján a biztonsági mutatók hosszabb időtávban esemény- és légijármű-kategóriánként, egyes szakmai szempontok alapján összevethetők. A statisztikákat önkéntes és kötelező bejelentési rendszerek töltik fel, biztosítva a szervezeteken belüli és szervezetek közti információ- és adatáramlást, valamint az azonosított veszélyforrások becsatornázását.

Az adatok – így az emberi hibákról szólók is – a kockázatelemzés és -értékelés nyomán a prediktív megelőzés lehetőségét teremtik meg.

A hibát többféleképp közelíthetjük meg: valamilyen probléma okaként, eseményként és következményeként. A háromféle megközelítés alapján a hiba háromféle arcát mutatja.

A hiba lehet *ok*. Ekkor a hangsúly egy olyan tetten, cselekvésen van, amelynek valamilyen szintű légi közlekedési esemény lesz a következménye.

A hiba értelmezhető *eseményként*. Ez a hibafelfogás is az emberi cselekvésre figyel, függetlenül attól, hogy a hiba okoz-e káros következményt. A hibázó oldaláról értékelve a hiba felismert jelenség, hiszen a hiba észlelése megtörtént. Például egy kihagyott lépés az ellenőrző listában nem okoz kézzelfogható következményt, de a hibázó ezt mégis hibaként értékeli.

A hiba felfogható úgy is, mint *következmény*. Először, az emberi hiba és a káros következmény egymástól elválaszthatatlanul összekapcsolódik, vagyis a kettő közt egyenes kauzális összefüggést feltételezünk. Ez az összefüggés tulajdonképpen összevonja a hibás cselekvést a következménnyel. A másik megközelítés szerint az emberi hiba ugyan nem látható, de mégis egyenes módon okoz káros következményt. Az ilyen hibák a rendszerben látens módon bújnak meg, számosan vannak jelen, és bár nem minden esetben válnak láthatóvá, káros hatásait rejtett módon fejtik ki.⁴ Az emberi hiba akár mint *ok*, akár mint *következmény* megítélés szempontjából valamilyen ítéletet hordoz magában. A cselekedet, ami káros következményhez vezet az okozó személlyel együtt kerül mérlegre. A cselekedet ennélfogva a helyes, nem helyes dimenzióban ítéltetik meg. A hiba mint szó eleve hordoz valamilyen ítéletet, amely nemcsak a tettet, hanem az eseményláncolat végén álló személyt is minősíti. A hiba ezért képes elvonni a figyelmet a mélyen fekvő, látens (szervezeti, kulturális) tényezőkről és az első vonalban álló személyre, annak helyes vagy helytelen cselekvésére irányítja azt. Mindez túlegyszerűsítéshez vezet, hiszen a nagy kockázatú komplex rendszerekben bármilyen tevékenység egymagában

³ Dudás Zoltán – Fábíán Anikó: Repülésbiztonsági irányítási rendszerek. *Repüléstudományi Közlemények*, 24. (2012), 2. 1029–1035.

⁴ James Reason: *Human factors. A personal perspective*. Human Factors Seminar, Helsinki, 2006. Feb. 13.

és közvetlenül ritkán vezet kritikus eseményhez, azok a legtöbbször események, hibák láncolatának következményei. Ennélfogva bár a tevékenység eredménye nem szándékoltan tér el az elvártaktól, a hibázó személy és a hibás tett elsősorban nem a szakmai helyesség-helytelenség szempontjából ítélődhet meg.

3. A leíró elméletek hibát magyarázó tételei

Az emberi hibát több elmélet magyarázza. Leggyakrabban a Reason nevéhez fűződő *svájci sajt* modell (*Swiss Cheese*, SC) a SHEL(L) modell, illetve az SRK modell kerül elő, amikor a légi közlekedésben bekövetkező emberi hibát vizsgáljuk.

A modellek közül talán a legnépszerűbb Reason-modell⁵ alap gondolata az, hogy az emberi hiba hátterében álló szervezeti-működési okokat kell felkutatni. A koncepció alapja olyan mélyen fekvő összefüggések megtalálása, amelyek a hiba kifejlődését lépésről lépésre feltárják, rámutatva azokra a nyugvó tényezőkre, amelyek a szervezeti kultúrába, a szabályrendszerbe beépülve előre megteremtik az emberi hiba lehetőségét. A hiba Reason elméletében a következmény szerepét játssza, szemben más megközelítésekkel. Más nézetek szerint maga a hiba az ok, tehát az ember szerepét automatizálással kell csökkenteni, tevékenységétől pedig a rendszert meg kell óvni. Ezzel szemben Reason és Hollnagel⁶ elképzelése szerint jobb elfogadnunk, hogy a légi közlekedés rendszere kockázatokat hordoz, alapvetően nem biztonságos. Az emberi hiba pedig nem a rendszer véletlenszerű káros működése, hanem a rendszerben megbúvó látens körülmények következménye.

Reason biztonságfilozófiai szempontból három megközelítést alkot annak megfelelően, ahogy az emberi hibát a rendszer kezeli.

Személyközpontú megközelítésben az emberi hiba pszichológiai tényező, azt mentális folyamatokra, a személyiség működésére: feledékenységre, figyelmetlenségre, önféjűsége, fegyelmezetlenségre vezet vissza. A hiba megelőzése, megbüntetésével, megszegyenítéssel, megfélemlítéssel lehetséges, amelynek eszköze újabb és újabb szabályok megalkotása. Az ilyen hibakezelés a hibát eltávolítja a kontextusától, ezért a megelőzésre a mélyebb összefüggések feltáratlansága miatt alkalmatlan. A személyközpontú nézőpont a hibázató, büntető biztonskultúra jellegzetessége. A hiba „eltüntetése” egyszerű tagadó attitűddel természetesen nem lehetséges. Az ilyen biztonskultúra eredményeként olyan szervezeti kultúra és légkör alakul ki, amelyben a hibát jobb eltitkolni, letagadni, mintha soha nem is létezett volna. Az ilyen tagadott hiba persze nem kerül elemzésbe, így abból a megelőzés nem tud profitálni.

A jogi központú modell szerint a szakemberek felelősek a tetteikért. A hiba a nagy kockázatú rendszerekben káros és nem tolerálható. A légi közlekedési eseményekhez vezető hibák a személyközpontú megközelítéshez hasonlóan emberi gondatlanság és vakmerősködés következményei. A probléma megoldása a büntetés a jog eszközeivel. A jogi megközelítés hatásossága azért kétséges, mert a legtöbb hiba nem okoz automatikusan kritikus problémát, így a korrekció csak egy újabb súlyos eset bekövetkezése után reaktívan valósul meg.

⁵ James Reason: *The Human Contribution: Unsafe Acts, Accidents and Heroic Recoveries*. Burlington, Ashgate Publishing Ltd., 2008.

⁶ Human Factors/CRM in Aviation, (Content book), Joint Aviation Authority Training Organisation, Hoofddorp, 2012.

A *rendszerközpontú modell* a tökéletlenséget és a hibát az emberi tevékenység velejárójának tekinti. Az emberi tevékenység pedig nem okozója a problémáknak, hanem éppen fordítva, a rendszer hiányosságai okozói az emberi hibáknak. A megelőzést éppen ezért célszerű ezeknek a szervezetben meglévő, az emberre leselkedő csapdáknak a semlegesítésével, a védelmi vonalak (technikai rendszerek, képzés, szabályok) erősítésével megoldani.⁷ A rendszerközpontú felfogás a hibát természetesnek fogja fel, azt nem oknak, hanem távolabbi tényezők következményének tekinti, a hibák feltárását bátorítja, az eseteket hibáztatási szándék nélkül elemzi és dokumentálja. Ez lehetővé teszi, hogy a súlyosabb légi közlekedési eseményeket a mindennapi hibák és eltérések szintjén megjelenő veszélyforrásokat prediktív módon kezeljük. A rendszerközpontú biztonságfilozófia a hibára mint olyan lehetőségre tekint, amely lehetővé teszi, hogy az emberi hibák a repülésbiztonsági elemzés fókuszába kerüljenek, és ezzel a megelőzést szolgálják.

A SHEL(L) modell több egyenrangú dimenzióban értelmeződik, úgymint: az emberi elem (*liveware*), a szabályok (*software*), a technikai rendszerek (*hardware*), valamint környezet (*environment*). A modell alapja annak megértése, hogy a négy elem összeállásának és együttműködésének milyensége a teljes rendszer működési minőségét és egyben biztonságát határozza meg.⁸ A biztonság oldaláról tekintve minden elem minden kapcsolódása hozzáad a rendszer egészének biztonságához. A modell az elemek közt meghatározott kapcsolódási pontokat mutat be, de ezeken felül a célszerűen lehetséges kapcsolódásokat nemcsak az elemek között, hanem saját dimenziójukban az elemek belső alrendszeri viszonyai szerint is értelmezi.⁹ Így lehetséges például az (ember–ember) és az (ember–környezet) kapcsolódásokat vizsgálni, amelyek az emberi interakciók oldaláról is értelmet nyernek, a fedélzeti együttműködés vagy a szervezeten belüli szervezeti kulturális tényezők összefüggésében. Ez a megközelítés elvezet a szervezeti környezet biztonságra gyakorolt hatásaival kapcsolatos *reasoni* gondolathoz, amelynek értelmében az emberi tényezőkön belüli hatások is elemezhetők.

A Rasmussen által megalkotott SRK¹⁰ (*Skill, Rule, Knowledge*)¹¹ döntéshozatali modell a viselkedés és kognitív lélektan eszköztárát használja. Három szintet különböztet meg, amelyek mindegyike döntési hibalehetőségeket hordoz. A jártasság, a szabályok és az ismeretek a komplex rendszerek biztonsága szempontjából fontosak, ezért az SRK modell a repülés rendszerében is nehézség nélkül alkalmazható. A repülési tevékenység folyamatos emberi döntési láncolatként is felfogható. A döntések ezeken a szinteken értelmeződnek:

Jártasság szintje. A tevékenység kvázi gondolkodás nélkül, csekély figyelem mellett fut le; Szabályok szintje. Helyzettudat mellett tudatosan alkalmaznak szabályokat; Tudás szintje. Váratlan helyzetben korábbi ismeretek és tapasztalat, alkotó felhasználása történik.¹²

Az SRK modell szerint bemutatott háromszintű hibastruktúra (szabály, jártasság, tudás) minden szintje hordozhat olyan elemeket, amelyek a végrehajtó személy szempontjából a rendszerbe beépült veszélyforrások, ezért azok elhárítása az első vonalban tevékenykedőktől

⁷ Reason (2006) i. m.

⁸ Dudás Zoltán: A humán tényezők és a CRM elvek jelentősége a távirányítású pilótánélküli légijárművek műveleteiben. *Repüléstudományi Közlemények*, 25. (2013), 3. 314–327.

⁹ Dudás Zoltán: A pilóta szerepe a repülésbiztonságban. *Repüléstudományi Közlemények*, 13. (2001), 2. 107–116.

¹⁰ Barry Kirwan: *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. Taylor and Francis, 1994.

¹¹ Jártasság, szabályok, tudás.

¹² JAA TO 106.

reálisan nem várható el. A már bemutatott ítéletalapú kategorizálás problémáinak feloldására Hollangel és Amalberti a következő osztályozást javasolja:

- Hibamentes műveletek. A tényleges eredménye megegyezik a kitűzött célokkal és szándékokkal.
- Korrigált műveletek. A kitűzött céltól való eltérést a művelet közben észlelték és kijavították.
- Hibás műveletek. Helytelenül végezték el, a kitűzött céltól való eltérést a művelet közben észlelték, de a hiba már nem volt javítható.
- Átgondolatlan műveletek. Helytelenül végezték el, a kitűzött céltól való eltérést a művelet közben észlelték, de figyelmen kívül hagyták.
- Végzetes műveletek. Helytelenül végezték el, és a kitűzött céltól való eltérést a művelet közben nem észlelték, ezért a hiba korrekciója nem történt meg.¹³

4. Az emberi hibák jellegzetességei és a Piszkos Tizenkettő

A Transport Canada (TC) a karbantartás hiányosságai miatt bekövetkező légi közlekedési események kapcsán összegyűjtötte azokat a jellegzetes hibatípusokat, amelyek a repülésbiztonságot károsan befolyásolják. 12 olyan tényezőt azonosítottak, amelyek az emberi teljesítőképességet, a hatékony és biztonságos munkavégzést veszélyeztetik, és emberi hibákhoz vezethetnek. A légi közlekedésben gyakran tapasztalt problémák alkalmasak arra, hogy a bemutatott leíró modellek között összefüggést teremtsenek, amennyiben ugyanaz a felbukkanó hiba a modellek alapelgondolásai felhasználásával több oldalról megragadható. A 12 hibatípust *Piszkos Tizenkettőnek* (Dirty Dozen, DD) nevezték el, és kezdetben kizárólag a karbantartás és üzemeltetés területén értelmezték. A 12 faktor a következő:¹⁴

- *kommunikáció hiánya;*
- *elbizakodottság;*
- *tudás hiánya;*
- *figyelem elterelődése;*
- *csapatmunka hiánya;*
- *kifáradás;*
- *erőforráshiány;*
- *idői nyomás;*
- *asszertivitás hiánya;*
- *stressz;*
- *helyzettudatosság hiánya;*
- *normák.*

A faktorok nemcsak a karbantartás területén használhatók, de kis módosításokkal kiterjeszthetők a repülési rendszer többi szakterületére is, figyelembe véve ezek jellegzetességeit. Érdeemes tehát megkísérelni ezek némelyikének bemutatását a rendszermodellek és más elméleti kutatások szempontjából.

¹³ Idézi: Dudás (2013) i. m.

¹⁴ *Human performance factors for elementary work and servicing.* Transport Canada TP14175E (10/2003).

4.1. Kommunikáció

A légi közlekedésben a *kommunikáció* fontossága nem szorul magyarázatra. A légi jármű fedélzetén a személyzettagok közötti, a légijármű-személyzet és az irányítás közötti, az irányítóegységek egymás közötti, az üzemeltetés és karbantartás személyzete közötti kommunikációk mind idesorolhatók, de a terület tágításával akár a repülésbiztonsági szervezeti elemek egymással való információváltása is megragadható ebben a keretben.

A nem megfelelő vagy hiányos kommunikáció előidézhethet olyan helyzetet, hogy a személyzet nem látja a helyét, szerepét és feladatát a rendszer egészében.¹⁵ Ha a kommunikáció hibájából a hatáskörök, célok, feladatok, eljárások nem tisztázottak, nem várható el sem a hatékony tevékenység, sem a biztonsági tudatosság és elkötelezettség. A kommunikáció hiánya mellett a nem megfelelő, nem pontos, nem időbeni információcsera is említést érdemel. Kommunikációs hibákkal találkozhatunk a repülési személyzet tagjai között, vagy a szervezeten belül, akár a szervezeti elemek között is. A felvázolt modellek közül SHEL(L) modell szerint az ember–ember (L–L), valamint a szervezeti környezet–ember (E–L) kapcsolódásai érdekesekek, de akár az ember–gép (L–H) kapcsolódás is vizsgálható a két elem közötti információátvitel szempontjából.

4.2. Asszertivitás és csapatmunka

A 12 faktor közül több összefügg egymással, így például a kommunikáció kapcsán nem mehetünk el szó nélkül az *asszertivitás hiánya és csapatmunka hiánya* mellett. Az asszertív képesség, amelynek fontosságát mi sem mutatja jobban, mint hogy a CRM¹⁶ egyik kulcseleme, olyan kommunikációra való képesség, amely lehetővé teszi, hogy a személyzet vagy szervezet tagja a gondolatait, aggályait, véleményét, meggyőződését és igényeit produktív módon legyen képes kommunikálni. Az asszertív kommunikáció nem agresszív, hanem nyugodt, hatásos és pozitív módja a kommunikációnak. Az asszertíven kommunikáló személyzettag stresszmentesen, határozottan képes közölni, érvelni bármilyen személyzettag, akár egy magasabb rangú személy irányában. Az így elért kommunikációs hatékonyság biztosítja azt, hogy a kommunikáció pontos, időbeni és zavarmentes legyen, ami különösen vész helyzetben válik kritikussá.

A csapatmunka kapcsán gyakran hallható kijelentés, hogy: *a biztonság a csapatmunkával kezdődik*. A csapatmunka a tudás és információ megosztásáról, a tevékenységek összehangolásáról, az együttműködésről szól. Ezek eredményeképpen a személyzet vagy akár a teljes szervezet tagjai megértik, elfogadják a célkitűzéseket, feladatokat, és egymást támogatva végrehajtják azokat, ami mindenképpen a biztonság javára válik.

Hiányában a tevékenység lelassul, hiányos és hibás kommunikációt eredményez. A csapatmunka kiaknázása az emberi tényezőben rejlő optimális potenciál kihasználását jelenti, amelyet a CRM is támogat. A CRM humán képességek kifejlesztését támogatja, mint például a vezetői képességek, a helyzetudat kialakítása, a helyes döntéshozatal képessége és egyes

¹⁵ FAA Aviation Maintenance Technician Handbook – General. Oklahoma, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2018.

¹⁶ Crew Resource Management.

kommunikációs képességek, amelyekről már szó esett.¹⁷ Utóbbi, vagyis az asszertív kommunikáció képes kezelni a közös tevékenység során a hatalmi távolságból és túlzott autoritás-tiszteletből keletkező kommunikációs deficit problémáját is. Ami a CRM kapcsán már említett döntési képességet illeti, a hiányos kommunikáció és csapatmunka eredményeként az operatív és taktikai szinten hozott hibás döntések a SHEL(L) szisztémában vizsgálva leginkább a SHEL(L) és előbbi L–L (ember–ember) és E–L (környezet–ember) kapcsolódásokban lelhető meg.

4.3. Tudás és jártasság

A repülési jártasság és szakmai ismeretek kapcsán népszerű vélekedés, hogy a tanulás és gyakorlás a repülésbiztonság növekedése irányába hat. A stabil repülési jártasság kialakulásával a gyakorlottság emelkedik, a személyzet képességei kiteljesednek. Ez a fejlődés azonban nem jár minden esetben együtt a biztonság növekedésével. A jártasság egy ponton túl a túlgyakorlás által a veszélypercepció változásához és a figyelem csökkenéséhez vezethet.¹⁸ A jártasság alacsony szintjén a túlzott figyelem jellemző. A tudás- és jártasságdeficit nem kedvez a biztonságnak, ugyanakkor ez a túlgyakorlottságra is igaz, ahol viszont a figyelem alacsony szintje jellemző. A gyakorlatlanság, a tudás hiánya gyakran vezet eljárásbeli hibákhoz. Ezek értelmezhetők a rendszermodellek szintjén is.

A jelenség az SRK modell R (szabály) és K (tudás) szintjén egyaránt megragadható, ha például az alkalmazandó eljárás nem ismert és a SHEL(L) modell (szabály–ember) kapcsolódásaiban, amennyiben az eljárás hibás. Az SC modellben bemutatott védelmi vonalak közül a képzés és szabályok finomítása szintén utalhat az eljárásbeli hibák kivédésére. A jártasságalapú hibák egyértelműen az SRK modell S (jártasság) szintjére utalnak, de párhuzamosság fedezhető fel a Reason-modell védelmi vonalai közül a tudást megalapozó *képzéssel*, amely ez esetben a jártasságot erősítő gyakorlati képzésként értelmezhető.¹⁹

4.4. Normák

A normák kapcsán célszerű felidézni, amit a leíró modellek bemutatásakor a szabályokról ismertettünk. Mindhárom elgondolás foglalkozik a normákkal. Reason elismeri a szabályokban konzervált biztonság fontosságát, és a hiba kifejlődésével szembeni védekezés eszközének, védelmi vonalnak tekinti a szabályokat. Felfoghatjuk úgy, mint SRK modell R (szabály) szintjén felbukkanó probléma (szabály nem ismert, szabály rossz, szabályt nem tartják be). A SHEL(L) modellben az S–L (szabály–ember) kapcsolódásaiban, az SC modellben pedig személyi és jogi központú megközelítésben köszön vissza a szabálysértés problematikája. A szabályok és normák biztonságra gyakorolt hatásának vizsgálatakor érdemes egy kitérőt tenni a biztonság elfajulásának (practical drift) témaköréhez. A biztonsági szabályok mentén való sérülése a napi gyakorlat során a kényelmetlen szabályok virtuális felülírásával valósul meg.²⁰ Bármilyen

¹⁷ CAP 737: *Flight crew human factor handbook*. Civil Aviation Authority, 2016.

¹⁸ Dudás (2001) i. m.

¹⁹ Dudás Zoltán: Repülésbiztonság emberi hiba nélkül? *Repüléstudományi Közlemények*, 29. (2017), 1. 75–81.

²⁰ James E. Leemann: *Practical drift and writing safety rules. Behaviors get loose when procedures are too tight*. Industrial Safety and Hygiene, 2011.

rendszer biztonságos működése az adott szabálykörnyezetben garantált. De a biztonságot garantálni hivatott szabályok a gyors végrehajtást korlátozhatják, ezért a végrehajtók ezeket akadályként kezdik szemlélni. A szabályokkal szemben tett apró engedmények, eltérések, kreatív értelmezések ellenére a rendszer működőképes marad, és a biztonság szintjének változása nem érzékelhető, ezért az önkényesen enyhített normák válnak alapnormává.

Az ezekkel szemben megengedett újabb apró engedmények a tevékenységet észrevétlenül a biztonság tartományán kívül helyezik. Szerencsétlen esetben a normaszegés válik szervezeti normává, aminek a biztonságra gyakorolt következményei egyértelműek, a légi közlekedési események bekövetkezése pedig törvényszerű. A folyamat azért veszélyes, mert lassú és észrevétlen, a veszélytudatosság szintjét apró lépésenként ássa alá.

A normák az *elbizakodottság* jelenségével is összefüggenek. A szakmában eltöltött idővel, a tapasztalattal és tudással hozhatók összefüggésbe. Amint láttuk, a légi közlekedési karrier elején az ismeret és gyakorlat hiánya a biztonság csökkenését eredményezheti. A gyakorlat és a tudás megszerzésével azonban együtt járhat a túlzott önbizalom, és az elbizakodottság is megjelenhet, ez pedig a hibázások növekedését okozza.²¹ A jártasság növekedésével a túlzott magabiztosság, valamint a figyelem és veszélytudatosság csökkenése is együtt járhat.²² Az elbizakodottság erodálhatja a szabályok tiszteletét is, ami egyenes úton vezet a kockázatok nagymértékű emelkedéséhez. Ahogyan azt a *biztonság elfajulásának* jelenségével illusztráltuk, az elbizakodottság és a szabályok figyelmen kívül hagyása is normává válhat. Ezt a jelenséget a bemutatott leíró modellek közül többel értelmezhetjük. Az elbizakodottság összefügg a *veszélytudatosság hiányával* is. A helyzet vagy a kockázat nem megfelelő felmérése a tevékenység következményeinek helytelen értékeléséhez vezet. A korábban bemutatott túlgyakorlás előrelátás és tervezés hiányához vezethet. Ezt a figyelem és éberség csökkenése váltja ki, ahogy azt a jártasság tárgyalásánál láttuk. A tudás, a jártasság, az elbizakodottság tehát egymásra ható faktorok, amelyek megsokszorozhatják a repülésben felmerülő problémákat.

5. Összegzés

A légi közlekedést emberi tevékenységek komplex rendszere alkotja. Ennélfogva a rendszer nem tökéletes, kisebb-nagyobb hibák időről időre felbukkannak. A légi közlekedés biztonságának fenntartása érdekében fontos ezeknek a gyakori hibáknak, illetve az azokat kiváltó veszélyforrásoknak a felismerése és megismerése. A nagy kockázatú rendszerek, mint amilyen a légi közlekedés, is komoly biztonságtudományi alapokon nyugszanak. A rendszert a biztonság szempontjából leíró elméletek szinte mindegyike vizsgálja az emberi tényezőt a hibák előállítása és kivédése szempontjából. Az elméletek összekapcsolásával az emberi hiba természete jól feltárható, hiszen az elméletek kiegészítik egymást. A biztonságra hatást gyakorló emberi hibalehetőségek összegyűjtésével több repülésbiztonsággal foglalkozó szervezet megpróbálkozott már. Ezek közül a TC 12 faktoros koncepciója különösen érvényes elgondolás, hiszen a gyakorlat tapasztalataira támaszkodik. Az eredetileg az üzemeltetési szakterületre kidolgozott veszélyforrásleltár egyes elemei leíró modellekkel: az SC modellel, a SHEL(L) modellel

²¹ Circular 240-an/144 Human factors digest no. 7. Investigation of human factors in accidents and incidents. ICAO, 1993.

²² Dudás (2001) i. m.

és az SRK modellel is alátámaszthatók. A modellek összevetése és a DD faktorok szerinti összefűzése a jövő kutatásainak jó kiindulópontja lehet.

A publikáció megjelenését a Nemzeti Közszolgálati Egyetem a Tématerületi Kiválósági Program keretében támogatta.

Felhasznált irodalom

- CAP 737: Flight crew human factor handbook.* Civil Aviation Authority, 2016.
- Circular 240-an/144 Human factors digest no. 7. Investigation of human factors in accidents and incidents.* ICAO, 1993. Online: www.skybrary.aero/bookshelf/books/2037.pdf
- Dudás Zoltán: A pilóta szerepe a repülésbiztonságban. *Repüléstudományi Közlemények*, 13. (2001), 2. 107–116.
- Dudás Zoltán – Fábián Anikó: Repülésbiztonsági irányítási rendszerek. *Repüléstudományi Közlemények*, 24. (2012), 2. 1029–1035.
- Dudás Zoltán: A humán tényezők és a CRM elvek jelentősége a távirányítású pilótanélküli légitársaságok műveleteiben. *Repüléstudományi Közlemények*, 25. (2013), 3. 314–327.
- Dudás Zoltán: Repülésbiztonság emberi hiba nélkül? *Repüléstudományi Közlemények*, 29. (2017), 1. 75–81.
- FAA Aviation Maintenance Technician Handbook – General.* Oklahoma, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2018. Online: www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/media/amt_general_handbook.pdf
- Hollnagel, E. – R. Amalberti: The Emperor's New Clothes, or whatever happened to "human error"? *4th International Workshop on Human Error. Linköping*, 2001. June 11–12.
- Human Factors/CRM in Aviation, (Content book), Joint Aviation Authority Training Organisation, Hoofddorp, 2012. 102–106.
- Kirwan, Barry: *A Guide to Practical Human Reliability Assessment.* Taylor and Francis, 1994. Online: <https://doi.org/10.1201/9781315136349>
- Leemann, James E.: *Practical drift and writing safety rules. Behaviors get loose when procedures are too tight.* Industrial Safety and Hygiene, 2011. Online: www.ishn.com/articles/91477-practical-drift-and-writing-safety-rules
- Reason, James: *Human factors. A personal perspective.* Human Factors Seminar, Helsinki, 2006. Feb. 13.
- Reason, James: *The Human Contribution: Unsafe Acts, Accidents and Heroic Recoveries.* Burlington, Ashgate Publishing Ltd., 2008. Online: <https://doi.org/10.1201/9781315239125>
- Human performance factors for elementary work and servicing.* Transport Canada TP14175E (10/2003). Online: www.skybrary.aero/bookshelf/books/2038.pdf



Szücs Péter¹

Gondolatok a légierő szervezeti és katonai vezetői kultúrájáról a Magyar Honvédségben

A légierő szervezeti kultúrája nagyon sokrétű, és emiatt egy bonyolult rendszert alkot. A repülés kicsivel több mint 100 éves múltja tele van olyan állomással, amely azonnal hatást fejtett ki rá. A légierő szervezeti kultúrája nagyon erős, de ezzel együtt érzékenynek is kell lennie, hisz ezzel képes haladni és felvenni a versenyt azzal a rohanó technológiai fejlődéssel, ami a világban zajlik. A légierő komplexitása, speciális feladatrendszere, a vele szemben támasztott magas követelmények gyors fejlődése, a szabályok kötöttsége mind hatással vannak a benne szolgálatot teljesítőkre, és nagy kihívást jelent a katonai vezetőire. A szervezeti kultúrája olyan értékeket és hagyományokat őriz magában, amelyeknek a továbbörökítése mindig is feladat kell hogy legyen függetlenül attól, hogy hova is fejlődik. Ehhez a vezetőknek úgy kell a vezetői kultúrájukat alakítani, hogy hosszú távon fenntartható legyen ez az állapot, és a kitűzött cél elérése mindenki számára ugyanolyan fontos legyen.

Kulcsszavak: légierő, vezetői kultúra, szervezeti kultúra

Thoughts on the Organisational and Military Leadership Culture of the Air Force in the Hungarian Defence Forces

The organisational culture of the Air Force is extremely diverse and therefore forms a reasonably complex system. The slightly more than 100-year history of aviation is full of stations that immediately made an impact on itself. The Air Force has an extremely strong organisational culture, but at the same time it has to be sensitive as well. It needs to be susceptible as well, as this will allow people to move forward and compete with the rapid development of technology, that is constantly happening in our persistently changing world. The complexity of the Air Force, its special system of tasks, the high demands placed on it, its rapid development and the rule of law all affect those who serve in it and pose a great challenge to its military leaders. Its organisational culture preserves values and traditions that should always be a task to pass on to the others, independently of the result of the development. In order to do so, leaders need to shape their leadership culture so that this state can be sustained in the long run, while on the other hand achieving the set goal is equally important for everyone.

Keywords: air force, military leadership culture, organisational culture

¹ Doktoranduszhallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi Doktori Iskola, e-mail: szucs.peter2@mil.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3026-128X>

1. Bevezetés

A Magyar Honvédség az elmúlt 30 évben tömeghadseregből önkéntes haderőre változott. Ez egy nagyon hosszú és komplex folyamat volt, tele kihívásokkal. A kihívások olyan követelményeket állítottak a teljes haderővel szemben, amelyek gyökeresen megváltoztattak mindent. Változtak a működést szabályzó dokumentumok, a szervezeti felépítések, a technikai eszközök, valamint ezekkel együtt kellett változnia a vezetési rendszereknek, ami a katonai gondolkodás változását is eredményezte. Ebben a 30 évben az egyik legmeghatározóbb esemény a NATO-csatlakozás volt. A magas követelmények és az új kihívások folyamatos részesei lettek a mindennapi életnek. A nemzetközi jelenlét és a missziós szerepvállalás lehetőséget adott a katonák számára betekintést nyerni más haderők működésébe, szervezeti felépítésébe és vezetési rendszerébe. A többnemzeti kontingensek működése során többre volt szükség, mint egymás megismerésére. Alkalmazni és használni kellett a közös elveket és megérteni egymást a műveletek során olyan mélységekig, hogy a kitűzött műveleti célt közös erővel legyünk képesek elérni. A légierő tekintetében ez a változás korábban és gyorsabban volt érzékelhető, mint a szárazföldi haderőnemenél. Gondoljunk csak arra, hogy a JAS-39 Gripen harcászati repülőgépek már 2006-ban megjelentek a Magyar Honvédségben. Az első olyan haditechnika volt ez, amely a NATO szigorú követelményrendszerének megfelelt. Ennek köszönhetően pedig képes volt nemcsak a hazai, hanem a szövetséges feladatokat is ellátni, például a szomszédos országok légtér őrzés-védelmi feladatai, valamint a balti légtérvédelmi feladat.

A szárazföldi haderőnemhez képest a légierőnek gyorsabban kellett reagálnia és hamarabb kellett alkalmazkodnia minden változáshoz, ez pedig megváltoztatta a szervezeti kultúráját is, amiből következett a katonai vezetői kultúra változása is.

2. Rövid történelmi előzmények

A repülés történelme alig több mint 100 éves múltra tekint vissza, mégis a vágy az emberiségben ennek a képességnek a megszerzésére sokkal régebb óta él. „Az első világháború kitörésekor a hadviselő országokban összesen mintegy 2000 repülőgép állt hadi szolgálatban, de a háború végéig mintegy 192 000 repülőgép hagyta el a repülőgépgyárakat. A nagy hadviselő országokban, Nagy-Britanniában, Franciaországban és Németországban 50–50 ezer repülőgépet gyártottak, s az Osztrák–Magyar Monarchia (OMM) területén épített gyárakban is több mint 5000 repülőgép készült. Kialakultak a repülő fegyvernemek, létrejött az első haderőnem, a Királyi Légierő (Royal Air Force, RAF), s egyértelművé vált, hogy a jövő háborúiban a légierőre fontos feladat hárul. Az OMM felbomlása után a magyar repülők részt vettek a további harcokban, mindent megtettek a haza védelmében, de a sajnálatos véget nem tudták elkerülni. Magyarország belerokkant a trianoni diktátum okozta csapásba, amelynek egyik következménye – a területek elcsatolásán túl – a katonai repülés felszámolása, a repülőeszközök teljes megsemmisítése lett.”²

A trianoni békediktátum egyik rendelete az volt, hogy a magyar haderőnek nem lehet légierije. Ezután megkezdődött a titkos légierő kialakítása. Az út, aminek a végén már kimondottan is rendelkezett Magyarország katonai légierővel, nagyon hosszú, rögös, fájdalommal

² Szabó József: A Magyar Királyi Honvéd Légierő története. *Hadtudomány*, 10. (2000), 3.

teli volt, és gyökeresen változtatta meg a haderő képességét. Talán ennek is köszönhető az a büszkeség, ami a mai napig is érezhető a Magyar Honvédség légierejében szolgálatot teljesítőknél. Minden repülőbázisunk, egy a történelemből merített ikonikus személy nevét vette fel, és az általa képviselt értékeket választotta magának és örököltette tovább a jelenbe. Ezzel olyan erős szervezeti kultúrát létrehozva, amely egyedi a Magyar Honvédségben. Minden tagja büszkén viseli a kék egyenruhát a kék parolival, ami a haderőnemhez való tartozás egyik legerősebb jelképe.

3. A légierő speciális szervezeti kultúrája

A szervezeti kultúrát Geert Hofstede holland kultúrakutató vizsgálta, akinek tudományos eredményei között szerepelnek a szervezeti kultúra öt dimenziójának, a szervezeti kultúra ideáltípusainak és a szervezeti kultúra alapköveinek a meghatározása. „Geert Hofstede a kultúrát a gondolkodás kollektív programozásaként definiálja, amely kizárólag egy csoportra vagy egy bizonyos kategóriára jellemző, s azokat a közös jellemzőket tartalmazza, amelyek a környezet változásaira adott válaszainkat befolyásolják. Kultúra mindaz, amit az emberek tesznek, gondolnak, és amivel rendelkeznek, mint a társadalom tagjai.”³

A vezetéssel kapcsolatosan azt mondja: A vezetés során nem lehet vezetési és szervezeti elméleteket exportálni egy szervezet életében anélkül, hogy ne vennénk figyelembe a kulturális kontextust.⁴ Erre a kijelentésre alapozva vizsgálom a légierő szervezeti és katonai vezetési kultúra sajátosságait és összetevőit.

A légierő szervezeti kultúrája nagyon sokrétű, és emiatt egy bonyolult rendszert alkot. A rendszer bonyolultságát sok tényező befolyásolja. Kétfajta szervezeti hierarchia van jelen. Az egyik a leírt, ami törvényi és jogszabályi alapokon nyugszik, így az szabályzókkal alátámasztott. Ilyen az állománytáblából adódó, beosztást betöltő, személyekhez kötött munkakörből és beosztásból eredő feladatok és követelmények hierarchiája. A másik pedig nincs leírva, de minden légierős tudja és érzi, hogy hol van a helye és szerepe a rendszerben, akár mint sárkányhajtómű-szerelő vagy reptér-üzemeltető esetleg katapultos és fedélzeti technikus. Ez a kettősség adja a specialitást. Azonban ez csak külső szemmel tűnik nagyon bonyolultnak. A benne lévőknek ez a rendszer egyszerű és világos.

A szárazföldi haderőnemhez képest mindig azt mondják, hogy a légierős katonák sokkal lazábbak. Ennek a gyakorlati oldala is az előzőekben felvázolt bonyolult rendszernek köszönhető, azonban, ha nemcsak külső szemlélők vagyunk, hanem betekintést tudunk nyerni abba, hogy működik a légierő vagy mi a fő mozgatórugója, akkor látni fogjuk, hogy ez nem teljesen igaz.

A légierő megalakulásának az oka nem más, mint az a technológiai fejlődés, aminek köszönhetően megszületett a repülőgép. Tehát bátran kijelenthetjük, hogy a légierő a repülőgép (később természetesen a helikopter is) mint haditechnikai eszköz működtetésével, üzemeltetésével, harcászati alkalmazásával, ellene történő védekezéssel foglalkozó haderőnem, kiegészítve a felsoroláshoz tartozó nagyon sok technológiai részelemmel, mint például a teljesség igénye nélkül a radartechnika, lokátortechnika vagy akár a légvédelem. A haditechnikai eszköz pedig

³ Török Judit: *Kultúrák a szervezeti történetek tükrében. Kultúraösszehasonlító kutatás*. Doktori téziszűzet. Budapest, PTE BTK Nyelvtudományi Doktori Iskola Kommunikáció Program, 2012. 7.

⁴ Török (2012) i. m. 16.

egy arra kiképzett és rátermett személy nélkül nem alkalmazható arra, amire kifejlesztették. Ez a személy pedig a pilóta. Innen ered a specialitása ennek a szervezeti kultúrának, amiről már korábban írtam. A középpontban a repülés, ezáltal pedig a pilóta, áll. Itt visszacsatolnék a kétfajta szervezeti hierarchiára. Az állománytáblából adódó hierarchiában a pilóta csak egy haditechnikai eszköz kezelője, aki egy rendfokozattal rendelkező katona, és feladata az eszköz szabályos kezelése. Felette az alegységparancsnok áll, aki felett pedig az egységparancsnok. A másik hierarchia alapján viszont a pilóta ugyan ki nem mondva, de a hierarchia csúcsán áll. Ennek pedig nagyon sok oka van. A pilóta viseli azokat a terheket, amelyek a repülőgép használatával kapcsolatosak. A felelősség hatalmas, hisz a haditechnikai eszköz értéke nagyon magas, a műveleti cél, amiért alkalmazva van nagyon fontos, és a legkisebb hiba esetén nemcsak ezek veszhetnek oda, hanem a pilóta élete is. Ennek elkerülése érdekében szigorú szabályokat rögzítettek. Ezek a szabályok a szervezeti kultúra és vezetői kultúra részei és azok melegágyai. Ismét visszacsatolok egy gondolatra, amely arról szól, hogy a légierőnél szolgálók mennyire lazák. Két olyan fontos tényező van jelen a légierő mindennapjaiban, amely önmagában nem enged meg semmilyen szintű lazaságot. Az egyik ilyen tényező a repülési fegyelem, a másik pedig a technológiai fegyelem. Van egy mondás, amely nem csak a légierő szervezeti kultúrájához, de az egész repüléshez kapcsolódik: „*A repülés szabályai vérrel írottak!*” Ez önmagában egy erős kijelentés, amelynek tényértéke van. Ha bárki hibázik a repülés komplex rendszerében, az komoly emberi áldozatokkal járhat, amelyek mellett eltöri az anyagi veszteség. Mégis akkor honnan ered ez a sztereotípiák? A légierőben egy sokkal családiasabb légkör uralkodik, tekintettel arra, hogy kisebb csapatokban végeznek nagy felelősséggel járó munkát. A kis létszámú csapatmunka pedig szorosabb emberi kapcsolatokat eredményez, amely jól kompenzálja azt nagy felelősséggel járó terhet, amely egy munkafolyamatból adódik. Itt olyan csapatra kell gondolni, mint például a repülőgép földi vagy légi kiszolgáló személyzete, vagy az a csapat, amely felkészíti a repülőgépet a légi igénybevételre, elvégzi az időszakos karbantartásokat, de gondolok arra a kis csapatra is, amely segít egy vadászrepülőgép-pilótának a repülőgépbe történő beülésben. Nem az a fontos, hogy kinek mi a rendfokozata, hanem az, hogy az adott repülőgép működtetése, kiszolgálása, üzemeltetése, alkalmazása, irányítása a lehető legmagasabb szakmai szinten történjen, hiba nélkül. Ennek a hatalmas felelősséggel járó komplex feladatrendszernek a terhét a légierőben szolgálók azzal kompenzálják, hogy a légkört, amiben dolgozniuk kell, emberivé és élhetővé teszik.

A légierőben kialakult szervezeti kultúra láthatóan egy sokkal komplexebb rendszer, amely gyorsabban képes változni, mint bármely más a haderőben lévő szervezeté. Oka a technológia gyors fejlődése, amely mindig is alapja lesz ennek a haderőnek. Ha azt nézzük, hogy a repülés története egyévszázados múltra tekint vissza, és ahhoz képest ötödik és hatodik generációs légi haditechnikai eszközök vannak jelen a világban, akkor jól érzékelhető, hogy ez mennyire gyors fejlődési folyamat. A régi értékeket meg kell őrizni, de képesnek kell lenni gyorsan fejlődni benne, képesnek kell lenni időben a generációváltásra és meg kell látni, mikor van arra szükség. Talán ez az oka annak, hogy nagyon sokszor a repülőbázisok parancsnokai pilóták. Ők a saját bőrükön érzik azt a felelősséget, ami a repüléssel jár. Ismerik azt a folyamatot, aminek az eredménye, hogy a légi eszköz a talajtól elemelkedik, tudják milyen érzés az, amikor a levegőben kell feladatot ellátni, és milyen az, amikor nekik kell dönteni, és a döntésük felelőssége is csak őket terheli. Az is a szervezeti kultúra része, hogy olyan parancsnok, katonai vezető legyen az élen, aki a légierőnél szocializálódott, aki összetetten látja a folyamatokat,

és ezzel hiteles tud lenni a szervezet élén. Döntései megkérdőjelezhetetlenek, megalapozottak és szakmailag alátámasztottak.

A légierő szervezeti kultúráját egy másik tényező is meghatározza. Ez pedig az együttműködés fogalma. A katonai hivatás minden szakterületén nagyon fontos a jó együttműködés, de a légierőnél ez különösen igaz, a korábban már említett indokok miatt. E nélkül nincs lehetőség jól és eredményesen működtetni a légierő feladatait végző szervezeteket. Fontos, hogy a bennük szolgálók is érezzék ennek a súlyát és fontosságát. A levegőben ez is jól szabályozva van, amely nemcsak a katonai repülésben van jelen, hanem a civilben is. A Crew Resource Management⁵ (CRM) egyértelműen fogalmazza meg a repülés során alkalmazandó szabályokat az együttműködésre. Ezeket a szabályokat is sajnos vérrel írták, hisz a megalkotására légi katasztrófák adtak okot. Ilyen volt az egyik, ami miatt a NASA 1977-ben kezdeményezett egy workshopot. Tenerife repülőtérén két Boeing 747-es utasszállító gép összeütközött a kifutón, és ennek következményeképpen 583 ember vesztette az életét.⁶ Ezután megkezdődött a világban az a mozgalom, hogy lehet a repülést még biztonságosabbá tenni. A CRM feladata volt, hogy egy olyan „szabályzatot” teremtsen meg a világban, amely mindenki számára irányt adó legyen. Azt tanítja a pilótáknak, hogy keressenek meg minden rendelkezésre álló erőforrást, amikor döntést hoznak. A pilótáknál nagyon fontos az együttműködés más személyzet tagjaival, járatvezetőkkel, a légi irányítókkal, akikkel rádióon vagy telefonon is tudnak kommunikálni, segítséget kérni egy esetleges katasztrófa helyzet elkerülése érdekében. A CRM arra ösztökéli a pilótákat, hogy cselekedjenek nyugodtan és megfelelő módon, ahelyett, hogy félelem vagy más negatív impulzus lenne, amikor döntéseket kell hozni. A pilótáknak fel kell ismerniük a saját veszélyes magatartásaikat, amelyek akadályozhatják a helyes döntéshozatalt, és megfelelően kell tudniuk kezelni a kockázatokat.⁷

A CRM megmutatja annak fontosságát, hogy kell együttműködni a levegőben a földi személyzettel, a légirányító-szakemberekkel, hogy kell kommunikálni az utasokkal és a légi-utas-kísérőkkel. A katonai repülésben ezeket a szabályokat ugyanúgy kell alkalmazni. Fontos és meghatározó tényezője a sikeres feladat végrehajtásának. Egy gyakorlati példával jól lehet szemléltetni ezt a situációt. Az első tiszt a fedélzeten őrnagyi rendfokozattal rendelkezik. Az utasok között pedig nála csak magasabb rendfokozatúak vannak. Az első tiszt számára elképzelhetetlen az a körülmény, hogy egy nála magasabb rendfokozatú katona utasítsa őt arra, hogy gyorsabban vagy lassabban, magasabban vagy alacsonyabban repüljön. Itt nem számít a rendfokozat és az életkor, itt csak az a felelősségteljes szakmai munka számít, amit a pilóta annak érdekében tesz, hogy biztonságban juttassa az utasokat és a repülőeszközt egyik pontról a másikra, függetlenül a műveleti feladattól. Nemcsak az utas és személyzet közötti kapcsolat és együttműködés van szabályozva, de a fedélzeti munkában is szigorúan jelentkezik a CRM iránymutatása, amit katonaként nehéz lehet megélni és megérteni, de a sajátos szervezeti kultúrából adódóan el kell fogadni és tudni kell vele együtt dolgozni. Lehet olyan helyzet, amely miatt egy első tisztet visszaminősítenek másodpilótának. Ilyenkor előfordul az, hogy a gép parancsnokának a rendfokozata alacsonyabb lesz, mint a másodpilótáé. Bármennyire is része egy katona életének a szervezeti és szabályzati kultúra, amiben szocializálódott, a rendfokozati különbség nem szabad, hogy befolyásolja a közös munkát.

⁵ Crew Resource Management magyarul: Pilótafülke erőforrás-menedzsment. Sarina Houston: *CRM: Crew Resource Management*. Chalized, é. n.

⁶ Mark Finlay: *Tenerife Airport Disaster: How It Happened And What We Learned*. Symple flying, 2020.

⁷ Houston (é. n.) i. m.

4. A katonai vezetői kultúra sajátosságai a légierőben

A vezetési kultúra a katonai vezetés egyik legmeghatározóbb tényezője, és minősége határozza meg a vezetés sikerét. Értéke és erőssége abban rejlik, hogy a vezető mennyire hisz benne, és mennyire tudja közvetíteni azt. Amíg a vezetői gondolkodás egy olyan folyamat, amelynek célja a problémamegoldás és a lehetséges legmegfelelőbb út megtalálása a feladatok rendszerében, addig a vezetői kultúra egy olyan komplex jelenség, amely magában foglalja azokat az értékeket, amelyeket a vezető a beosztottjaival együtt közösen teremt vagy ápol a saját cél és előljárói szándék elérése érdekében. Az előző fejezetben említett szervezeti kultúrára jellemző komplexitás, amely a légierőben nagyon erősen van jelen, nagyon nagy hatással van a katonai vezetőkre. Az egyik legnagyobb kihívás a nagyon erős szervezeti kultúra mellett a saját egyéniség, meggyőződés, hiedelem integrálása a közös értékekbe úgy, hogy ne sérüljenek azok az alapszabályok, amelyek meghatározzák a légierő hatékony és biztonságos működését, amely a technológia fegyelemben és repülési fegyelemben nyilvánul meg. Ezeknek a magas szinten tartása és megkövetelése a katonai vezetési kultúra egyik fő feladata. A légierő bármely területén, vezetői beosztásban szolgáló katonák vezetői tevékenységének alapja kell hogy legyen. Ezzel lehet megteremteni azt a szakmaiságot, amely ahhoz szükséges, hogy a gyorsan fejlődő technikai változások, időben lekövethetők legyenek. Nem számít, hogy valaki egy lokátor monitorja mögött ül, vagy egy hangárban szereli a repülőgép hidraulika rendszerét vagy esetleg reptérkarbantartóként javítja a leszállópálya fényeit, ugyanúgy kell gondolkozni erről a két alapszabályról. Ezért a katonai vezetési kultúra sokkal merevebb és kevésbé nyitott, mint a szárazföldi erőknél szolgáló katonai vezetők esetében. A légierőre jellemző a korábban említett családi légkör, amelynek okát már magyaráztam. A katonai vezetési kultúrának azonosulnia kell egy emberközpontú értékrendszerhez, amelynek komoly állománymegtartó ereje van, ami nagyon fontos tényező tekintettel arra, hogy mi a légierő profilja. A légierőnél nagyon sok az a szakbeosztás, amit csak egy speciális tanfolyam vagy iskola elvégzésével lehet betölteni. Ezekre a szakterületekre vagy beosztásokra nem jellemző az átjárhatóság, így egy esetleges kiválás nehezíti az utánpótlást. Évek kellene ahhoz, hogy valaki igazán jó szakember legyen a saját szakterületén, és ha a vezetői kultúra nincs igazítva ehhez a speciális helyzethez, akkor az fluktuációnövelő hatással van a szervezetre, ami óriási szakmai, pénz- és humán veszteséget okoz. A szakember utánpótlása mindig nagyon nehéz feladat és komoly kihívás. A légierő szervezeti és vezetői kultúrájának a része kell hogy legyen a kiképzett állomány megtartása annak érdekében, hogy a technológiai és repülési fegyelem magas szinten legyen tartva, amelynek eredménye a biztonságos repülés és a jól működő légierő. Érezhető, hogy mennyire nehéz feladatvezetőként ezekhez a faktorokhoz történő alkalmazkodás és megfelelés, mennyire nehéz út a saját vezetői kultúra megtalálása ebben a bonyolult követelményrendszerben úgy, hogy mellette a szervezeti értékek és hagyományok ne sérüljenek.

5. Összegzés

Sir Winston Churchill megfogalmazása szerint: „A légierő a katonai erő valamennyi formája közül a legbonyolultabb ahhoz, hogy méretezzük, nem hogy még pontos meghatározásokkal

kifejezzük.⁸ Rövid tanulmányomban jól tudtam ezt a megfogalmazást igazolni. A légierő komplexitása, speciális feladatrendszere, a vele szemben támasztott magas követelmények gyors fejlődése, szabálykötöttsége mind hatással van a benne szolgálatot teljesítőkre, és nagy kihívást jelent a katonai vezetőknek. A szervezeti kultúrája olyan értékeket és hagyományokat őriz magában, amelynek a továbbörökítése mindig is feladat kell hogy legyen. A Magyar Honvédség légierője sok fájdalmat élt át az elmúlt évtizedekben, de most a Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretein belül olyan képesség alapú légierője lehet Magyarországnak, amelyre irigyen tekinthet bármely más európai ország is. A repülőtechnikai eszközpark a hozzá tartozó földi kiszolgáló, kiképző, tűzvezetési és irányítási/vezetési rendszerekkel együtt egy nagyon modern és versenyképes légierőt teremt meg. Ennek az új légierőnek az is feladata, hogy a szervezeti kultúrát fejlessze úgy, hogy a klasszikus értékek megmaradjanak, és azok az értékek, amelyek a nehéz időkben is életben tartották, fennmaradjanak. Ehhez a vezetőknek úgy kell a vezetői kultúrájukat alakítani, hogy hosszú távon fenttartható legyen ez az állapot, és a kitűzött cél elérése mindenki számára ugyanolyan fontos legyen.

Felhasznált irodalom

- Finlay, Mark: *Tenerife Airport Disaster: How It Happened And What We Learned*. Simple flying, 2020. Online: <https://simpleflying.com/tenerife-disaster/>
- Houston, Sarina: *CRM: Crew Resource Management*. Chalized, é. n. Online: <https://hu.chalized.com/crm-crew-resource-management/>
- Krajnc Zoltán: A légierő alkalmazásának alapkérdései. *Új Honvédségi Szemle*, 7. (2005), 7. 87–98. Online: <http://real.mtak.hu/23541/1/Krajnc%20UHSZ.pdf>
- Szabó József: A Magyar Királyi Honvéd Légierő története. *Hadtudomány*, 10. (2000), 3.
- Török Judit: *Kultúrák a szervezeti történetek tükrében. Kultúraösszehasonlító kutatás*. Doktori téziszfüzet. Budapest, PTE BTK Nyelvtudományi Doktori Iskola Kommunikáció Program, 2012.

⁸ Krajnc Zoltán: A légierő alkalmazásának alapkérdései. *Új Honvédségi Szemle*, 7. (2005), 7. 87–98.



Barta Gábor¹ – Varga Béla²

Az Arriel 2E turboshaft³ hajtómű termikus elemzése

Egy adott gázturbinás hajtómű részletesebb vizsgálatát minden esetben meg kell előznie a hajtómű termikus körfolyamatának vizsgálata. A termikus körfolyamat-számítás eredményeit számos ehhez kapcsolódó probléma megoldásához felhasználhatjuk. Ilyen lehet például az egyes gépegységek további áramlástanai vagy szilárdsági vizsgálata, vagy a hajtómű termikus matematikai modelljének felépítése, de nem utolsósorban információkat kaphatunk az adott hajtómű tervezett üzemmódjához kapcsolódó gépegység-hatásfok-értékekről. Ez lehetőséget ad más hajtóművekkel való összehasonlításra és a vizsgált hajtómű termikus jellemzőinek értékelésére. Ebben a cikkben a szakdolgozatom részét képező Arriel 2E hajtómű elemzését végeztük el a konzulensem támogatásával. Ezt különösen érdekes feladatnak tartottam, annak fényében, hogy a Magyar Honvédségben rendszeresített H145M helikopterekbe is ezeket a hajtóműveket építették be.

Kulcsszavak: gázturbinás hajtómű, turboshaft, termikus körfolyamat számítás, gépegység-hatásfokok, termikus hatásfok

A Thermal Cycle Analysis of the Arriel 2E Turboshaft Engine

A detailed examination of a given gas turbine engine must always be preceded by an examination of the thermal cycle of the engine. The results of the thermal cycle calculation can be used to solve many related problems. This can be, for example, a further flow or strength analysis of each engine components, or the construction of a thermal mathematical model of the engine, last but not least, information can be obtained on the component efficiencies related to the take-off rate of power. This provides an opportunity to compare with other engines and to evaluate their thermal characteristics. In this article, I performed an analysis of the Arriel 2E engine, which was part of my thesis and was supported by my consultant. The analysis is particularly interesting in light of the fact that these engines were installed in H145M helicopters introduced in the Hungarian Defence Forces.

Keywords: Gas Turbine Engine, Turboshaft, thermal cycle calculation, component efficiencies, thermal efficiency

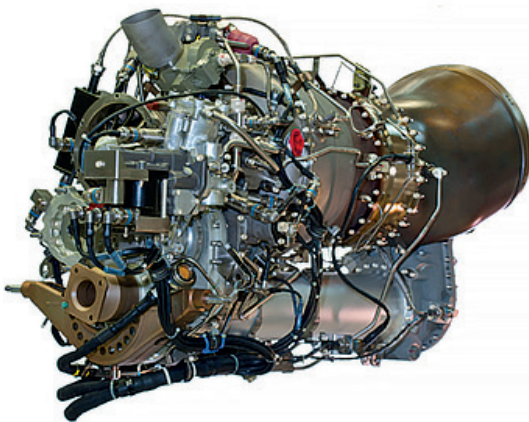
¹ BSc-hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék, e-mail: thebartagabo@gmail.com

² Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék, e-mail: varga.bela@uni-nke.hu

³ Turboshaft: tengelyteljesítményt szolgáltatató gázturbinás hajtómű (jelen esetben helikopterek erőforrásai).

1. Bevezetés

A Magyar Honvédség 20 darab könnyű, Airbus H145M típusú, többcélú helikopter beszerzéséről döntött. Ezek a helikopterek a világon ma elérhető legmodernebb helikopterek közé tartoznak. Modernné teszik ezeket az eszközöket a fejlett avionikai rendszereik, a kivételes képességű HForce-fegyverrendszer, a fedélzeten lévő precíziós repülésvezérlő és navigációs berendezések, valamint szenzorok. Mindezek a modern eszközök digitális interfészekon keresztül, folyadékkristályos kijelzők segítségével segítik a helikopter személyzetét a feladatok végrehajtásában. A helikopter a kor legmodernebb anyagaiból épül fel, amelyek nem nélkülözik többek között a kompozitanyagokat sem.⁴



1. ábra
Arriel 2E hajtómű. Forrás: Arriel. Safran, é. n.

A helikopter a Safran Helicopter Engines hajtóműgyár Arriel 2E hajtóművével (1. ábra) van felszerelve kéthajtóműves változatban, amelyek kétcsatornás teljes körű digitális hajtómű-szabályozással (FADEC) vannak ellátva.

2. A termikus körfolyamat-számítás előkészítése

Mi kell számunkra a termikus körfolyamat-számítás elvégzéséhez? Néhány, a hajtóműre jellemző adat és türelem. A vizsgált hajtómű kategóriájától függ a feladat bonyolultsága. Egy kétáramú, több forgórészes hajtómű vizsgálata meglehetősen bonyolult és több adat is szükséges a feladat elvégzéséhez. Turboshaft hajtóművek esetében egy kicsit egyszerűbb a feladat.

⁴ Réz Levente: A helikopterképesség fejlesztésének aktuális kérdései. *Repüléstudományi Közlemények*, 31. (2019), 3. 77–88.

2.1. A termikus körfolyamat-számításhoz szükséges hajtóműadatok

Az adatok általában rendelkezésre állnak, mivel a gyártók legtöbbször felszálló üzemmódra ezeket megadják, és a hajtómű leírásokból, de általában internetes forrásokból is hozzáférhetők. Ezek a legtöbbször az alábbi hajtóműadatok, amelyek közül a vizsgált Arriel 2E hajtóműre rendelkezésre álló értékeket fel is tüntettem. Minél több kiinduló adatunk van, annál pontosabb képet alkothatunk az adott hajtóműről.⁵

Rendelkezésre álló adatok:

- kompresszor(ok) nyomásviszonya (π_k): 8,5;
- a hajtómű levegőfogyasztása (\dot{m}): 2,71 kg/s;
- levegőelvételek mértéke (\dot{m}_{kond} ; $\dot{m}_{hüt}$): nincs adat;
- fajlagos üzemanyag-fogyasztás (c_{fajl}): nincs adat;
- abszolút üzemanyag-fogyasztás ($\dot{m}_{tüza}$): nincs adat;
- égőtér (turbina) utáni gáz hőmérséklet (T_3): 1398 K;
- tengelyteljesítmény (P_{szt}): 657–667 kW (adatok nem egyértelműek).⁶

Láthatólag nem dúsíthatunk a rendelkezésre álló adatokban, de még ebben az esetben is jó közelítéssel számolhatjuk a hajtómű körfolyamatot. Ezek az értékek legtöbb esetben, mint most is a NEL (Nemzetközi Egyezményes Légkör) $H = 0$ méterre vonatkoznak, tehát a hajtóműbe belépő közeg jellemzőit is ennek megfelelően vesszük fel ($T_0 = 288$ K, $p_0 = 101\,325$ Pa). A tüzelőanyag (kerozin) fűtőértéke szintén adottnak tekinthető ($H = 43,217$ MJ/kg).

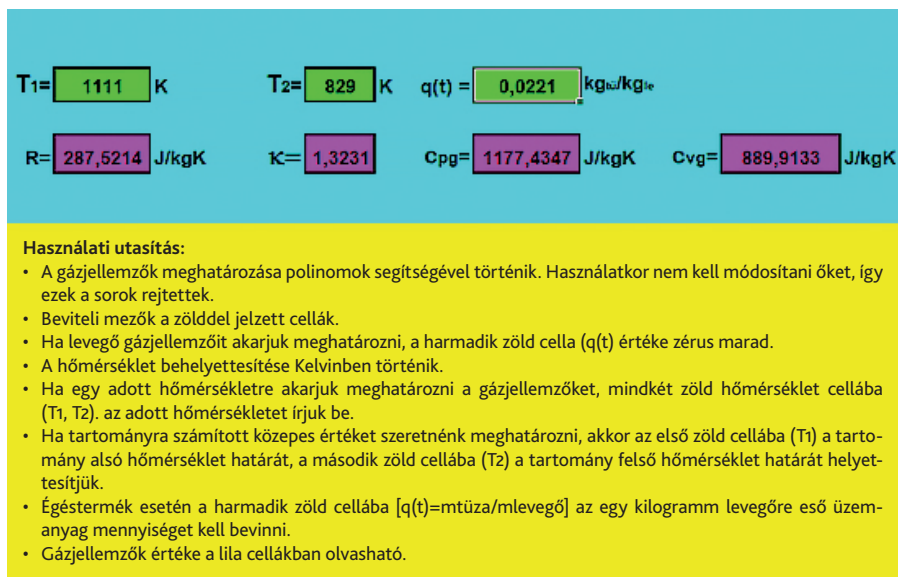
Az adatokat két csoportba soroljuk, az egyik csoportot alkotják azok az adatok, amelyek feltétlenül szükségesek a számítási folyamat elvégzéséhez. A másik csoportba tartozó adatokat csak a számítási folyamat elvégzése után az eredmények ellenőrzésére használjuk.

2.2. A gázjellemzők meghatározása

A közeg termikus jellemzőinek meghatározása az izobár fajhő, a specifikus gázállandó és az adiabatikus kitevő (c_p ; R ; κ) meghatározását jelenti. Ezeket gépegségenként kell vizsgálni, mert értékük függ a közeg hőmérsékletétől és a gáz összetételétől is. Egy-egy gépegségben iterációt alkalmazva a gépegségben lévő közepes hőmérsékletre határozzuk meg ezeket az értékeket vagy táblázattal, vagy egy Excel program segítségével.

⁵ Varga Béla: *A TV2-117A hajtómű termikus matematikai modellje*. Diplomamunka, Budapest, Budapesti Műszaki Egyetem, 1990.

⁶ *Training Notes*. 1st Line Maintenance Course, Safran Helicopter Engines Academy, 2017.



2. ábra

A gázjellemzők meghatározására szolgáló Excel program. Forrás: Varga Béla szerkesztése

Én az utóbbit használtam, ami része a konzulensem (szerzőtárs) által kidolgozott elektronikus tananyagnak, lásd a 2. ábrán a kezelői felületet.

2.3. A gépegység hatásfokok és -veszteségek

Az egyik célja a termikus körfolyamat-számításnak éppen a gépegység hatásfokok és veszteségek meghatározása, amit legtöbb esetben nem ad meg a gyártó. Első lépésben ezek kiindulási értékeit kell felvennünk, amiben segíthet a tapasztalat és a hasonló korú, kategóriájú hajtóművek hatásfokadatainak hozzávetőleges ismerete. Jelen esetben az itt szereplő hatásfokok és veszteségek már a körfolyamat-számítás alapján módosított és elfogadott értékeket jelentik.

A vizsgált hajtómű hatásfok- és veszteségadatai:

- szívócsatorna nyomásvesztési tényező (σ_d): 0,99;
- kompresszor izentrópus hatásfoka (η_{ik}): 0,78;
- égőtér-nyomásvesztési tényező (σ_e): 0,96;
- égőtérhatásfok (η_e): 0,96;
- kompresszorturbina izentrópus hatásfoka (η_{ikt}): 0,86;
- szabadturbina izentrópus hatásfoka (η_{iszt}): 0,87;
- gázvezető nyomásvesztési tényezője (σ_g): 0,92;
- teljesítményelvétel a segédberendezések meghajtására: ebben az esetben ezt a gázgenerátor-egység mechanikai hatásfokánál vettem figyelembe;
- gázgenerátor-egység mechanikai hatásfoka (η_{mk}): 0,97;
- szabadturbina-egység mechanikai hatásfoka (η_{mszt}): 0,99.

3. Termikuskörfolyamat-számítás

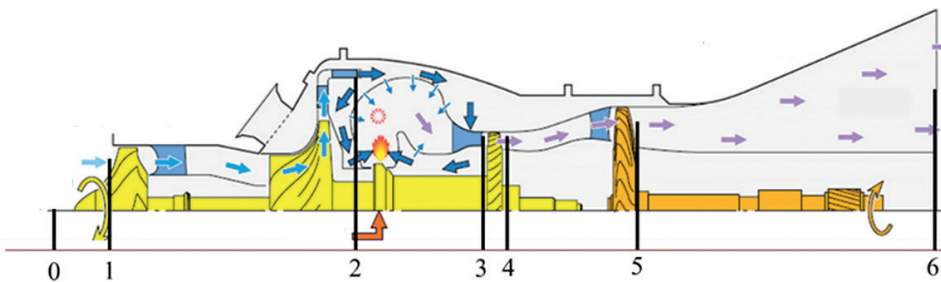
3.1. Körfolyamat-számítás alapelvei, keresztmetszetek meghatározása

Az adatok egyik csoportját felhasználva a megbecsült hatásfokadatokkal és a gázjellemzőkkel (c_p ; R ; κ) meghatározzuk a hajtóműre jellemző, még rendelkezésre nem álló adatokat. Ezeket az eredményeket is felhasználva számolom azokat a hajtóműadatokat, amelyeket összehasonlítva az elkülönített (fel nem használt) hajtóműadatokkal következtetéseket vonhatok le arról, hogy mennyire helyesen választottam meg a hatásfokadatokot. Ha az eredmények 3%-on belül vannak, elfogadhatjuk a körfolyamat-számítás eredményeit és ezzel együtt a megbecsült hatásfok- és veszteségi adatokat is. Ha nem, akkor célszerűen, a lehetséges határokon belül valamelyik hatásfok- vagy veszteségértéken (esetleg többön is) módosítani kell, mindaddig, míg a hibahatáron belül nem kerülünk. Ennek megfelelően ez egy többszörös iterációs folyamat, ahol egyre közelebb kerülünk a végeredményhez. Természetesen már egy Excel programot használva is sokkal fájdalommentesebben oldhatjuk meg ezt a feladatot, hiszen sokfordulós kézi számítást spórolhatunk meg.

A termikuskörfolyamat-számítás elvégzéséhez definiálni kell a vizsgált keresztmetszeteket (3. ábra), illetve fel kell állítani az ennek megfelelő körfolyamat T-s diagramját (4. ábra), ami alapján a tényleges körfolyamat-számítást elvégezhetjük.

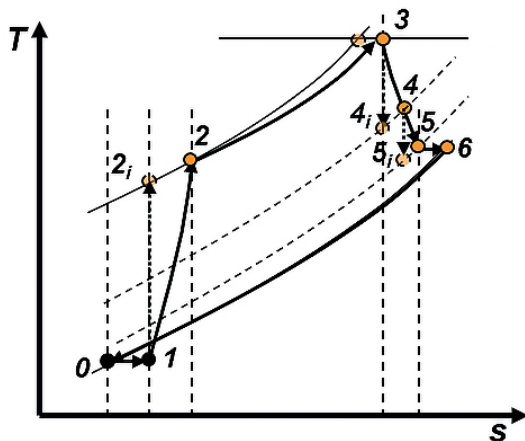
Ennek megfelelően a vizsgált gépegységekben lejátszódó folyamatok:

- 0–1: A beszívott levegő a hajtómű rövid szívócsatornájában végighaladva sűrűlődből származó minimális nyomásvesztéget szenved;
- 1–2: A kompresszorban valóságos adiabatikus kompresszió játszódik le;
- 2–3: Az égőtérben izobár folyamat során történik a hőközlés a sűrűlődből származó minimális nyomásvesztéssel;
- 3–4: A kompresszorturbinában megkezdődik a valós adiabatikus expanzió;
- 4–5: Az előző folyamat folytatódik a szabad turbinában;
- 5–6: Feltételezhetjük, hogy a gázvezető-rendszerre csak annyi nyomásesés jut, ami fedezi a sűrűlőds miatt létrejövő nyomáscsökkenést.



3. ábra

Az Arriel 2E hajtómű metszeti ábrája a jellemző keresztmetszetekkel. Forrás: Training Notes. 1st Line Maintenance Course, Safran Helicopter Engines Academy, 2017.



4. ábra

Az Arriel 2E hajtómű metszeti ábrája a jellemző keresztmetszetekkel. Forrás: a szerzők szerkesztése

3.2. Állapotjelzők meghatározása a vizsgált keresztmetszetekben

3.2.1. Szívócsatorna előtti (0.) keresztmetszet

Állapotjelzők a 0. keresztmetszetben:

- Hőmérséklet: $T_0 = 288 \text{ K}$
- Nyomás: $p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$

A Nemzetközi Egyezményes Légkör adatainak megfelelően vettem fel a belépő keresztmetszet hőmérséklet- és nyomásértékeit.

3.2.2. Szívócsatorna utáni (1.) keresztmetszet

Állapotjelzők a 1. keresztmetszetben:

- Hőmérséklet: $T_0 = 288 \text{ K}$
- Nyomás:

$$p_1 = p_0 \sigma_a = 101\,325 \cdot 0,99 = 100\,312 \text{ Pa} \quad (1)$$

A folyamat izotermikus, a nyomás enyhén csökken a sűrűdés miatt, amit a szívócsatorna nyomásvesztései tényezőjével (σ_a) vettem figyelembe (0,99).

3.2.3. Kompresszor utáni (2.) keresztmetszet

Állapotjelzők a 2. keresztmetszetben:

- Hőmérséklet:

$$T_{2i} = T_1 \pi_k^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 288 \cdot 8,5^{\frac{0,39}{1,39}} = 527 \text{ K} \quad (2)$$

$$\eta_{ik} = 0,78 = \frac{T_{2i}-T_1}{T_2-T_1} \rightarrow T_2 = 595 \text{ K} \quad (3)$$

- Nyomás:

$$p_2 = \pi_k p_1 = 8,5 \cdot 100\,312 = 852\,650 \text{ Pa} \quad (4)$$

- Kompresszor és segédberendezések teljesítményfelvétele:

$$P_k = \frac{\dot{m} c_{pk} (T_2 - T_1)}{\eta_{km}} = \frac{2,71 \cdot 1018,33 \cdot (595 - 288)}{0,97} = 874,592 \text{ kW} \quad (5)$$

Először az izentrópus kompresszió vég hőmérsékletét (T_{2i}) számítjuk ki a kompresszor-nyomásviszony segítségével. Majd ebből a kompresszor izentrópus hatásfokát ($\eta_{ik} = 0,78$) felhasználva a kompresszor utáni valóságos vég hőmérsékletet (T_2). A képletekben megjelenő gázjellemzők (c_p ; κ ; R) már az iterációs eljárások végeredményét jelzik. A kompresszió végnyomás (p_2) a nyomásviszony (π_k) ismeretében könnyen számolható. Itt célszerű meghatározni a kompresszornak a sűrítéshez szükséges teljesítményfelvételét (P_k). A kompresszoron még a teljes levegőáram keresztülhalad (\dot{m}). Figyelembe kell vennünk a gázgenerátor-egység mechanikai hatásfokát (η_{km}), amit úgy vettem fel, hogy tartalmazza a segédberendezések meghatározásához szükséges teljesítmény többletet is.

3.2.4. Égőtér utáni (3.) keresztmetszet

Állapotjelzők a 3. keresztmetszetben:

- Hőmérséklet (adott): $T_3 = 1398 \text{ K}$
- Nyomás:

$$p_3 = \sigma_\epsilon p_2 = 0,96 \cdot 852\,650 = 818\,544 \text{ Pa} \quad (6)$$

A folyamat izobár, de a nyomás enyhén csökken a súrlódás miatt, amit az égőtér nyomásvesztései tényezőjével (σ_ϵ) vettem figyelembe (0,96).

3.2.5. Kompresszorturbina utáni (4.) keresztmetszet

Állapotjelzők a 4. keresztmetszetben:

Hőmérséklet:

$$T_4 = T_3 - \frac{P_k}{\dot{m}_{kt} c_{pkt}} = 1398 - \frac{874\,592}{2,71 \cdot 1305} = 1136 \text{ K} \quad (7)$$

$$\eta_{ikt} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4i}} \rightarrow T_{4i} = T_3 - \frac{T_3 - T_4}{\eta_{ikt}} = 1398 - \frac{1398 - 1136}{0,87} = 1097 \text{ K} \quad (8)$$

• Nyomás:

$$p_4 = p_3 \left(\frac{T_{4i}}{T_3} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 818\,544 \cdot \left(\frac{1097}{1398} \right)^{\frac{1,305}{0,305}} = 290\,377 \text{ Pa} \quad (9)$$

Ebben a keresztmetszetben abból a feltételből kell kiindulni, hogy a kompresszorturbina által szolgáltatott teljesítmény meg kell hogy egyezzen a kompresszor és a segédberendezések teljes teljesítményszükségletével. Ebből közvetlenül a valós kompresszorturbina utáni hőmérsékletet (T_4) határozhatjuk meg. A nyomást a Poisson-egyenlettel a kompresszorturbina-kilépés ideális hőmérsékletének (T_{4i}) meghatározása után számolhatjuk. Itt figyelniük kell arra, hogy a kompresszorturbinán átáramló gáz mennyiségét (\dot{m}_{kt}) több tényező is befolyásolhatja. Így a kompresszorból elvett levegő, az elégetett tüzelőanyag, a turbina hűtésére visszavezetett levegő. Mivel sem a használati levegőről, sem a hűtőlevegőről nem volt információ, így úgy vettem, hogy a tüzelőanyag tömegnövelő hatása kiegyenlíti a kompresszortól elvett levegő okozta tömegcsökkenést. Ennek megfelelően nem módosítottam a tömegáramot.

3.2.6. Szabadturbina utáni (5.) keresztmetszet

Állapotjelzők az 5. keresztmetszetben:

• Nyomás:

$$p_5 = \frac{p_0}{\sigma_g} = \frac{101\,325}{0,92} = 110\,136 \text{ Pa} \quad (10)$$

• Hőmérséklet:

$$T_{5i} = T_4 \left(\frac{p_5}{p_4} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 1136 \left(\frac{110\,136}{290\,337} \right)^{\frac{0,323}{1,323}} = 897 \text{ K} \quad (11)$$

$$\eta_{iszt} = \frac{T_4 - T_5}{T_4 - T_{5i}} \rightarrow T_5 = T_4 - \eta_{iszt}(T_4 - T_{5i}) = 1136 - 0,88(1136 - 897) = 926 \text{ K} \quad (12)$$

A nyomást abból a feltételből számoltam, hogy a gázvezető rendszer kilépő keresztmetszetében a gáz már a környezeti nyomásra expandál. Innen a gázvezető rendszer nyomásvesztései tényezőjével (σ_g) visszaszámolva megkapjuk a szabad turbina utáni nyomást.

A Poisson-egyenlettel, illetve a szabad turbina izentrópiikus hatásfokát felhasználva (η_{iszt}) megkapjuk a hőmérsékletet (T_5) is.

3.2.7. Kilépő keresztmetszet utáni (6.) keresztmetszet

Állapotjelzők az 6. keresztmetszetben:

- Hőmérséklet: $T_6 = 926 \text{ K}$
- Nyomás: $p_6 = 101\,325 \text{ Pa}$

A gázvezető rendszerben izotermikus az állapotváltozás, a nyomás a környezeti nyomásra csökken.

3.2.8. A hajtómű tengelyteljesítménye, hatásfoka és fajlagos tüzelőanyag-fogyasztása

- Hajtómű tengelyteljesítmény:

$$P_{szt} = \eta_{sztm} \dot{m}_{szt} c_{pszt} (T_4 - T_5) = 0,99 \cdot 2,71 \cdot 1177 (1136 - 926) = 666 \text{ kW} \quad (13)$$

- Fajlagos hasznos munka:

$$w_h = \frac{P_{szt}}{\dot{m}_k} = \frac{666}{2,71} = 246 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (14)$$

- Hajtómű termikus hatásfok (η_{tv}):

$$\eta_{tv} = \frac{P_{szt}}{\dot{m}_{tűza} H} = \frac{666 \cdot 956}{0,061 \cdot 43 \cdot 217 \cdot 080} = 0,253 \rightarrow 25,3\% \quad (15)$$

- Fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás (\bar{c}):

$$\bar{c} = \frac{3600}{0,253 \cdot 43217,08} = 0,329 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \quad (16)$$

A hajtómű (fajlagos) tüzelőanyag-fogyasztása nincs megadva, ezért csak hozzávetőleges tüzelőanyag-fogyasztást lehet meghatározni az adiabatikus láng hőmérséklet alapján. Az égőtérbe való belépés hőmérséklete 595 (~600) K a hőmérséklet emelkedése közel 800 K, így a felhasznált diagram alapján a tüzelőanyag levegő arány 0,0226. Figyelembe véve a hajtómű tömegáramát, a tüzelőanyag-fogyasztás legvalószínűbb értéke ~0,061 kg/s.⁷

4. Értékelés

Az Arriel 2E Training Notes pdf tananyagban megtalálhatóak a gyári hőmérséklet- és nyomásadatok is, ami lehetővé teszi a körfolyamat-számítás ellenőrzését (lásd 1. táblázat). Valamilyen

⁷ Chalmers University of Technology: *Lecture 3 Some more thermodynamics*. é. n.

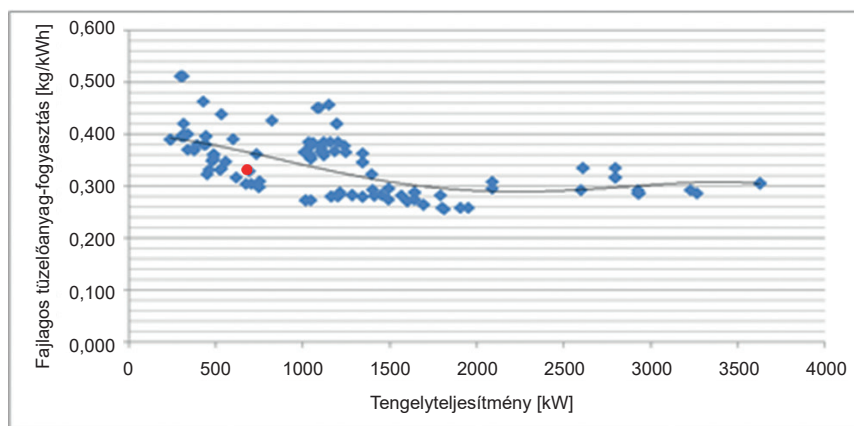
okból a 4. keresztmetszet adatai térnek el jelentősebben, ami a többi adat jelentős egyezését tekintve nem biztos, hogy a körfolyamat-számítás hibájára utal.

1. táblázat

A gyári és a körfolyamat számítás adatainak összehasonlítása és ellenőrzése. Forrás: a szerzők szerkesztése és *Training Notes* (2017) i. m.

	nyomás [Pa]		hőmérséklet [K]	
	gyári adat	körfolyamat-sz.	gyári adat	körfolyamat-sz.
0	101 325	101 325	288	288
1	101 325	100 312	288	288
2	850 000	852 650	580	595
3	820 000	818 544	1398	1398
4	306 000	290 377	1205	1136
5	111 000	110 136	933	925
6	101 325	101 325	933	925

Érdeemes továbbá összehasonlítani a legfontosabb jósági mutatókat, úgymint a fajlagos hasznos munka (w_h) és a termikus hatásfok (fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás) más hasonló kategóriájú hajtóművekkel. A lenti 5. és 6. ábrákat a konzulensem PhD-disszertációjában találtam,⁸ ami számos napjainkban használt turboshaft hajtómű statisztikai elemzésén alapul. A 5. ábra a fajlagos tüzelőanyagfogyasztás-értékeket vizsgálja a tengelyteljesítmény függvényében. Látható, hogy az Arriel 2E hajtómű fajlagos tüzelőanyag-fogyasztása kismértékben jobb (piros pont), mint az átlag, de ebben a teljesítménykategóriában a legjobbak már 0,3 kg/kWh fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás, illetve 27–28%-os termikus hatásfok körül teljesítenek. Ez a hatásfok meglehetősen szerény a manapság nagy kétáramúsági fokú turbofan hajtóművekhez képest, ahol nem ritka a 45% körüli termikus hatásfok. Ugyanakkor a turboshaftoknál, főleg a kis méretük miatt 30%-os hatásfok már kiemelkedőnek számít.

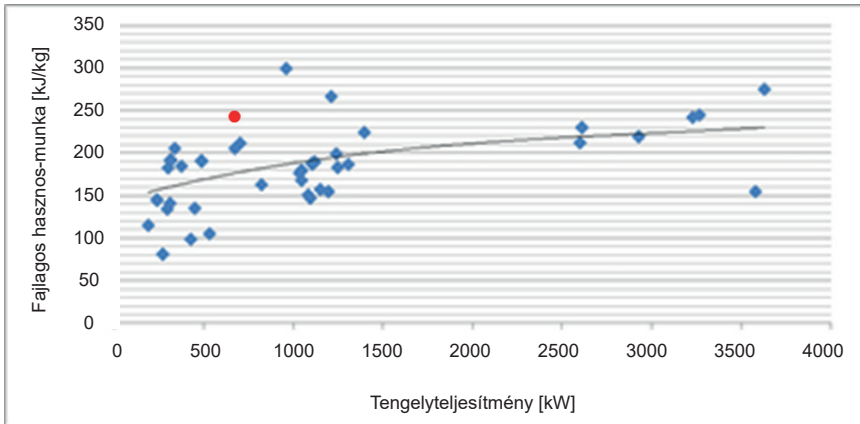


5. ábra

A hajtómű fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás (termikus hatásfok). Forrás: Varga (2013) i. m.

⁸ Varga Béla: *Gázturbinás hajtóművek teljesítmény és hatásfok növelésének műszaki technológiai háttere, és ezek hatása a katonai helikopterek korszerűsítésére*. Doktori értekezés, Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. 47–81.

A méret hatása még kategórián belül is jól látszik az 5. ábrán, ahol a kisebb tengelyteljesítményű, vagyis méretben is kisebb hajtóművek fajlagos tüzelőanyag-fogyasztása jelentősen rosszabb. Ez tulajdonképpen azt jelenti, hogy a (kis) méret bünteti ezeket a hajtóműveket, vagyis minél kisebb mérettel rendelkeznek, annál nehezebb jó hatásfokot elérni.⁹



6. ábra

A hajtómű fajlagos hasznos munka. Forrás: Varga (2013) i. m.

A 6. ábra a fajlagos hasznosmunka-értékeket ábrázolja a tengelyteljesítmény függvényében. Látható, hogy a fajlagos hasznos munka szerint az Arriel 2E jelentősen jobb mutatóval rendelkezik, mint az átlag (piros pont). Ez természetesnek vehető, tekintve, hogy a turbina előtti gázhőmérséklethez képest túlságosan alacsonynak tűnik a kompresszor-nyomásviszony. A gázturbinák sajátossága ugyanis, hogy adott hőmérséklet határok között és gépegység-hatásfokok mellett, mind fajlagos hasznos munka, mind pedig termikus hatásfok szerint rendelkeznek optimumokkal, amelyeket a kompresszor nyomásviszonyával lehet jellemezni. Ezek a nyomásviszonyértékek, különösen magasabb turbina előtti hőmérsékletek esetében jelentősen eltérnek egymástól (lásd 8. ábra). Általában a hajtóművek munkapontjait a két nyomásviszony közé illesztik. Itt azonban az alacsony kompresszor-nyomásviszony egyértelműen jelezte, hogy felszálló üzemmódon a hajtómű munkapontja a fajlagos hasznos munka maximuma környékén lehet.¹⁰

⁹ Varga Béla; Békési László: „Tényleg nem a méret számít?”, avagy hogyan bünteti a kis méret a helikopter „turboshaft” hajtóműveket. *Repüléstudományi Közlemények*, 26. (2014), 2. 81–93.

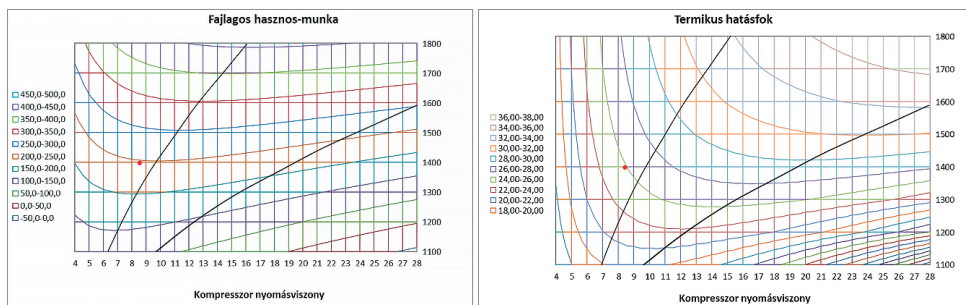
¹⁰ Varga Béla – Óvári Gyula – Kavas László: The turbine inlet temperature and compressor pressure ratio the siamese twins of the gas turbine engines. *Scientific Research and Education in the Air Force*, 18. (2016), 1. 393–398.

Indítás	max-fajl-munka	optimum	maximális hatásfok	aktuális
pi=	9,75	13,11	19,07	8,50
T3=	1398			
éta-pol-k=	0,825			
éta-pol-e=	0,865			
éta-égő=	0,97			
szigma-dif=	0,99			
szigma-égő=	0,96			
szigma-gázelv=	0,99			
szigma-egyéb=	0,92			
éta-mech-k=	0,97			
T2=	625,15	688,29	774,96	597,67
T5=	902,93	846,64	779,49	929,83
fajlagos-munka=	247,119	241,554	219,006	246,073
termikus hatásfok=	26,96	28,619	29,46	25,96

7. ábra

A hajtómű fajlagos hasznos munka. Forrás: Varga (2013) i. m.

Lefuttatva a hajtóműadatokat a konzulensem által készített termikus számítógépes modellen (eredmények a 7. ábrán) kiderült, hogy egyrészt a kapott eredmények alátámasztják a termikus körfolyamat-számítás eredményeit (a program politrópikus hatásfokokkal számol), másrészt a 8,5-es kompresszor-nyomásviszony az 1398 K-es turbina előtti gázhőmérsékletnél még a maximális fajlagos hasznos munka eléréséhez sem elegendő. Ez látható a 8. ábrán, ahol az első görbe a maximális fajlagos hasznos munkához, a második pedig a maximális termikus hatásfokhoz tartozó nyomásviszonyokat jelzi mindkét görbeseregnyél.



8. ábra

A hajtómű fajlagos hasznosmunka- és termikus hatásfok-görbéi. Forrás: Varga (2013) i. m.

Ebből az következik, hogy a nyomásviszony optimális esetben lehetne jóval magasabb (a piros pont a ~1400 K-es vonalon jobbra tolnódna). 9,75-os nyomásviszornál elérné a maximális fajlagos hasznos munkát és körülbelül 11-es nyomásviszornál lenne ugyanannyi a fajlagos hasznos munka, mint a kiindulási helyzetben, ugyanakkor a hatásfok közel 2%-kal lenne magasabb.

Mi az oka ennek? Valószínűleg az, hogy a jól bevált, több Arriel 1 és 2-es változaton alkalmazott kompresszoron nem akartak változtatni (egy axiál- és egy centrifugál-fokozat), amiből

nem lehetett már nagyobb nyomásviszonyt kipróbálni.¹¹ Tengelyteljesítmény szempontjából ez minimális 2–3 kW-os veszteséget okoz, közelítve a lehetséges maximális teljesítményhez. Tüzelőanyag-fogyasztásban lehetett volna nyerni, de valószínűleg ezt feladták, mondván felszálló teljesítményen egyébként is csak limitált ideig működik a hajtómű.

Termikus szempontból ezzel együtt is mondhatjuk, hogy a hajtómű hozza a kötelezőt. Megfelel a kor követelményeinek. Hozzá kell tenni, hogy a H145M helikopter esetében az EECU (*Electronic Engine Control Unit*) lekorlátozza a hajtóművek teljesítményét felszálló üzemmódon 445 kW-ra.¹²

Felhasznált irodalom

- Arriel. Safran, é. n. Online: www.safran-helicopter-engines.com/helicopter-engines/lower-1000-shp/ariel
- Chalmers University of Technology: *Lecture 3 Some more thermodynamics*. é. n. Online: <https://slideplayer.com/slide/4644987/>
- Pásztor Endre – Varga Béla: Energy- and Aerodynamic Examination of Slightly Backward Leaning Impeller Blading of Small Centrifugal Compressors. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 43. (2015), 4. 199–205. Online: <https://doi.org/10.3311/PPtr.8093>
- Réz Levente: A helikopterképesség fejlesztésének aktuális kérdései. *Repüléstudományi Közlemények*, 31. (2019), 3. 77–88. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.3.460>
- Training Notes*. 1st Line Maintenance Course, Safran Helicopter Engines Academy, 2017.
- Varga Béla: *A TV2-117A hajtómű termikus matematikai modellje*. Diplomamunka, Budapest, Budapesti Műszaki Egyetem, 1990.
- Varga Béla: *Gázturbinás hajtóművek teljesítmény és hatásfok növelésének műszaki technológiai háttere, és ezek hatása a katonai helikopterek korszerűsítésére*. Doktori értekezés, Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. Online: <https://doi.org/10.17625/NKE.2013.027>
- Varga Béla – Óvári Gyula – Kavás László: The turbine inlet temperature and compressor pressure ratio the siamese twins of the gas turbine engines. *Scientific Research and Education in the Air Force*, 18. (2016), 1 393–398. Online: <https://doi.org/10.19062/2247-3173.2016.18.1.53>
- Varga Béla – Békési László: „Tényleg nem a méret számít?“, avagy hogyan bünteti a kis méret a helikopter „turboshaft” hajtóműveket. *Repüléstudományi Közlemények*, 26. (2014), 2. 81–93.

¹¹ Pásztor Endre – Varga Béla: Energy- and Aerodynamic Examination of Slightly Backward Leaning Impeller Blading of Small Centrifugal Compressors. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 43. (2015), 4. 199–205.

¹² *Training Notes* (2017) i. m.

A GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légitársaság-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen – VOLARE” című projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A kutatás a fenti projekt „AVIATION_FUEL” nevű kiemelt kutatási területén valósult meg.



Makkay Imre¹ – Takács Sándor² – Willand Péter³

Meteorológiai szenzorok alkalmazása a kistípusú repülésben

Egyes meteorológiai szenzorok mérete, energiaigénye mára olyan mértékben lecsökkent, hogy azokat nehézség nélkül tudják hordozni a kistípusú repülés résztvevői is. A motoros és vitorlázó repülőgépek, siklóernyők, sárkányrepülő, hőlégballonok, sőt a drónok is lehetnek aktív résztvevői a meteorológiai adatgyűjtésnek, ha az általuk repült útvonalakról naprakész információkat (szél-, hőmérséklet-, páratartalom-adatokat) küldenek a meteorológiai szolgálatoknak. A cikkben áttekintjük a lehetséges műszaki megoldásokat, és ismertetjük az NKE UAS ENVIRON kutatócsoportjával közös kísérleteink eredményeit.

Kulcsszavak: repülésmeteorológia, szenzorok, kistípusú repülés

Application of Meteorological Sensors in General Aviation

The size and energy requirements of some meteorological sensors have now been reduced to such an extent that they can be carried without difficulty by participants in small aircraft. Motorised and gliding aircraft, paragliders, kites, hot air balloons, and even drones can be active participants in meteorological data collection by sending up-to-date information (wind, temperature, humidity data) about the routes they take to meteorological services. In this article we review the possible technical solutions and present the results of our joint experiments with the research group UPS UAS ENVIRON.

Keywords: flight meteorology, sensors, General Aviation

1. Bevezetés

Az utóbbi évek rendkívül változékony időjárása komoly kihívást jelent a repülésbiztonság számára – különösen kistípusú forgalomban közlekedőkre, amelyek méretük, alacsony repülési sebességük miatt erre fokozottan érzékenyek.

¹ Nyugalmazott egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: drmi48@gmail.com

² Ügyvezető igazgató, PEVIKTERA Consulting Kft., e-mail: takacsandor@peviktera.hu

³ Programozó matematikus, PEVIKTERA Consulting Kft., e-mail: peter.willand@gmail.com

A meteorológiai mérőeszközök túlnyomó része földi telepítésű állomásokon dolgozik. Csupán néhány – erre speciálisan felkészített – légköri szonda végez naponta időjárás-felderítést. Magyarországon két helyen Budapesten 0:00 és 12:00 órákor, valamint Szegeden éjjelkor indítanak meteorológiai ballont. Az Országos Meteorológiai Szolgálat időjárás radarhálózata sem képes teljes lefedettséget biztosítani – térgeometriai és műszaki okok következtében.⁴ Ugyanakkor naponta több száz kisgépes repülés útvonala hálózta be a légteret preferált vagy éppen aktuálisan használt útvonalakon – jellemzően VFR-,⁵ NVFR⁶-körülmények között. Kézenfekvő a lehetőség, hogy a fedélzetükön magukkal vitt érzékelők adatai – mint kiegészítő források – legyenek elérhetőek a repülésmeteorológia számára.

Az eljárás alkalmazhatóságát bizonyító kutatások és kísérletek az NKE GINOP-2.3.2-15-2016-00007 pályázatának UAS ENVIRON munkacsoportjával közösen folytak – különböző légi járművek bevonásával. A szenzorok és hordozóik mellett a telemetriai adatátvitel és annak földi fogadását biztosító vevőhálózat és megjelenítés is kifejlesztésre várt.

A továbbiakban e számos novummal gazdagodott munka eredményeiről számolunk be.

2. Repülésmeteorológia – jegesedésveszély

A repülésmeteorológia⁷ az időjárás folyamatokkal és előrejelzésekkel foglalkozó tudományág. Az időjárás minden földön, vízen, levegőben tartózkodó számára fontos tényező, amely elérhet olyan szélsőségeket, amelyek korlátozzák vagy akár lehetetlenné teszik a közlekedést, a szabad térben tartózkodást.

A légtér rendkívül összetett képet mutat a „rátámaszkodó” légi járművek számára. A felhajtóerőt létrehozó hajtóművek, termikus légáramlatok ellenére is létrejöhetnek olyan kedvezőtlen változások – hőmérséklet, páratartalom, légnyomás, szél vonatkozásában –, amelyek a repülést megnehezítik, vagy akár lehetetlenné teszik – ezek közé tartozik a légi járművek felületét, hajtóművét, kormány szerveit, mérőszondáit lefedő jég.

A dér, zúzmara, jégréteg vagy akár hó kialakulhat még felszállás előtt – ezt a repülőtéri szolgálatok megfelelő eszközökkel általában el tudják távolítani. A nagyobb veszély a levegőben tartózkodó légi járműveket fenyegeti, mert az ott kialakuló jégrétegtől sokkal nehezebb megszabadulni.⁸

A jégréteg tömegnövekedést, felhajtóerő-csökkenést, hajtóműleállást és műszerek meghibásodását okozhatja. A megváltozott aerodinamikai állapot az átesési sebességet is megnövelheti, csökken a kormány szervek hatásossága, működtetésük akadályba ütközhet.

A szélsőséges időjárás körülmények között is repülő katonai, közforgalmi utas- és teher szállító repülőgépeken jegesedésre, illetve annak veszélyére figyelmeztető mechanikus, elektromos, kémiai, rádióizotópos érzékelőkkel működő segédberendezések találhatók.

⁴ Hadvári Marianna et al.: *Országos Meteorológiai Szolgálat időjárás radarhálózatának mérései*. Budapest, OMSZ, 2018.

⁵ VFR (*Visual Flight Rule*) – látva repülés szabálya.

⁶ NVFR (*Night Visual Flight Rule*) – éjszakai látva repülés szabálya.

⁷ Sándor Valéria – Wantuch Ferenc: *Repülésmeteorológia*. Budapest, Országos Meteorológiai Szolgálat, 2005.

⁸ Wantuch Ferenc – Simon Sándor – Koczor Eszter: *Légi jármű jegesedése egy esettanulmány kapcsán. Repüléstudományi Közlemények*, (2011), ksz. 1–21.

Gondoskodnak a légsebesség/nyomás mérésére szolgáló nyílások szabad átjárhatóságáról, fűtéséről, a szárnyak belépőélét hő, vegyi, elektromos vagy mechanikus úton jégtelenítik.⁹



1. ábra

A szolarizált árnykép túlhűlt vízcseppek jelenlétéről tanúskodik. Forrás: a szerzők felvétele

A kisgépeken jellemzően nincs sem jelző, sem jégtelenítő berendezés – csupán a porlasztófűtés (ha van beépítve) védhet a jegesedés, motorteljesítmény-csökkenés vagy motorleállás ellen. Ez az egyik ok, ami miatt a figyelmünk feléjük fordult, a másik, hogy „érintettségük” miatt is számíthatunk a segítségükre, amikor hordozó eszközöket keresünk.

3. Szenzorok a fedélzeten

A GA (kisgépes) légi forgalom jellemzően a felszínközeli planetáris határréteg (0,1–3 km) tartományát¹⁰ veszi igénybe. Az itt zajló jegesedést kiváltó időjárási körülmények vizsgálata, a megtörtént események elemzése, a várható folyamatok előrejelzése a mai napig még sok nyitott kérdést hagy maga után. Ugyanakkor mára megteremtődtek a műszaki lehetőségei annak, hogy szenzorokat küldjünk korábban elérhetetlen vagy nehezen megközelíthető légterekbe, hogy valós idejű hőmérséklet- és páratartalom-értékeket kapjunk.

Az UAS ENVIRON munkacsoportnak egyik feladata a *merev-, illetve forgószárnyas időjárás-felderítő UAV prototípusának kifejlesztése, amelyek speciális levegőkémiai és időjárási mérésekre és real-time adattovábbításra egyaránt képesek.*

A szenzorok kiválasztásakor tehát elsőrendű szempont volt a méret és tömeghatár betartása, valamint az energiaigény limitálása. A kísérleteink során három különböző gyártó

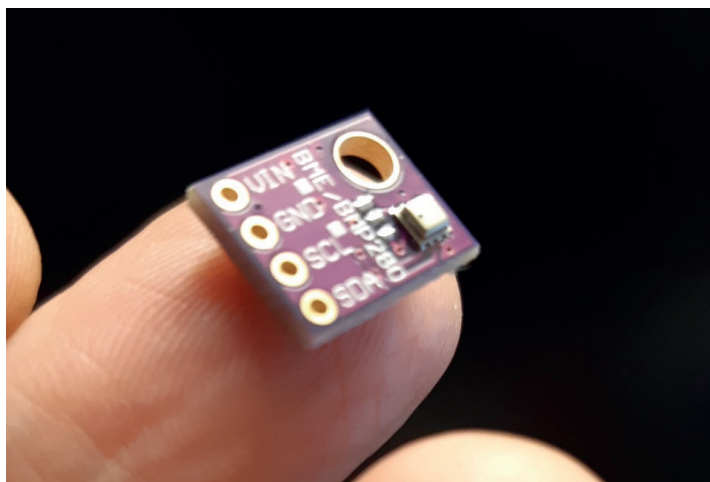
⁹ Óvári Gyula: Biztonságtechnika a repülésben: a repülőeszközök jégtelenítő rendszerei. *Repüléstudományi Közlemények*, (2008), ksz. 1–20.

¹⁰ Weidinger Tamás: *A planetáris határréteg szerkezete, felszín-légkör kölcsönhatások.* é. n.

eszközeit használtuk: a svéd Sparv Embedded AB Sparvio szenzorcsaládját, a német Graw rádiószondát és a Bosch BME280 többfunkciós érzékelőjét.

A Sparvio és Graw rendszerek teljes kiépítettségűek – biztosított a jelfeldolgozás, kiépített a rádiócsatornás adattovábbítás és a megjelenítés – ezzel ellentétben a BME280 „csak” egy szenzor, amihez ezt a környezetet létre kellett hozni.

A Bosch BME280 szenzorok olyan kis méretűek (2,5 × 2,5 × 0,93 mm), hogy elhelyezésükre külön segédpanelt használtunk – törekedve a gyári előírások betartására, amelyben a légáramlás biztosítása és a hőhidak kiküszöbölése jelentkeztet kihívásként. A szenzorok I2C protokollal címezhetők, és így akár 1090 db érzékelőről kaphatunk adatot ugyanazon a két (SDA, SCL) vezetéken. Ez kiváló lehetőséget teremt a légi járművek redundáns szenzorrendszerének kialakítására – az egyes, létfontosságú szenzorok dupla vagy akár tripla példányának kezelésére.



2. ábra

A Bosch BME280 szenzor segédpanelen. Forrás: a szerzők felvétele

A BME280 másik előnyös „tulajdonsága” az alacsony ára (~3\$), ami kedvező feltételeket biztosít a kísérletezésekhez. Népszerű a különböző fejlesztői környezetekben – számos programkönyvtár érhető el a GitHub felületen. Többféle processzorral (STM-32, Atmel-328, SAMD21) megépítettük a mérőegységünket – keresve a legkisebb méret/fogyasztás és legkedvezőbb geometriai kialakítás kombinációit –, aminek eredménye lett a tömör felépítésű, navigációs és lesugárzó egységgel közös áramkörü panel.

A szenzorok elhelyezése és környezete jelentősen befolyásolhatja azok helyes, pontos működését. Az egyes hordozók eltérő alakja, repülési tulajdonságai külön feladat elé állítja a tervezőket és az építőket. A funkcionális megfelelés mellett gondoskodni kell a mechanikai védelemről, az energiaellátásról és törekedni a hordozóeszköz repülési tulajdonságainak minél kisebb mértékű befolyásolására.

A Sparvio érzékelői számára egy külön légcsatornát kellett létrehozni a merevszárnyú UAV törzsén belül, hogy védje a hőmérséklet-, páratartalom- és gázszenzorokat – ugyanakkor folyamatosan friss levegőt biztosítson számukra.

A forgószárnyas UAV-k külső (alsó, felső) szerkezeti elemei adtak lehetőséget a szenzorok rögzítésére. A méréseket egyedi vagy több szenzor adatainak összehasonlítását biztosító csoportos felfüggesztéssel végeztük.¹¹

4. Adatkapcsolat

A szenzoradatok valós idejű lesugárzása – tapasztalataink alapján – az ISM¹²-sávban működő eszközökkel, viszonylag kis ráfordítással kivitelezhető. A nyílt fejlesztésű OGN-hálózat eszközei a 868,0–868,6 MHz-es ISM-tartományban működnek. A FLARM frekvenciája nem nyilvános (de belesik a tartományba), míg az OGN Trackerek 868,2 MHz és 868,4 MHz frekvencián adnak váltakozva. A sávban 25 mW engedélyezett teljesítménnyel és < 1%-os kitöltési tényezővel kell megelégedni. A Manchester-kódolt 50 kbps OGN-adásokat aszinkron, GFSK-modulációval sugározzák ki. A FLARM protokollja nem nyilvános, de a „hivatalos” OGN-vevők mindkét adást tudják dekódolni – az alapítók által biztosított (bináris) program segítségével. A földi vevők központi APRS-szerverekre küldik a vett adásokat, ahonnan – felhasználói szervereken keresztül – már bárki számára hozzáférhetővé válnak.



3. ábra
OGN Tracker a drón „hátán” – felszállás előtt. Forrás: a szerzők felvétele

Az OGN Tracker lesugárzása – egy általunk indított fejlesztés eredményeként – már tartalmaz meteorológiai adatsorokat. A trackerek korábbi változataiban használt BMP280 (csak nyomásmérő) szenzorokat BME280-ra módosítva a nyomás, hőmérséklet és páratartalom is megjelenik az adatok között.

A meteorológiai adat ~15 s-ként kerül sorra, ami gyors emelkedés/süllyedés esetén megnehezíti a mérést. A meteorológiai üzenetben nincs helyzetadat – így az OGN számára

¹¹ A. Z. Gyongyosi et al.: *Meteorological Data in the Open Glider Network (OGN)*.

¹² ISM (Instrumental Scientific Medical) – ipar, tudomány, egészségügy.

ez egy „veszteséges” adatcsomag. Az OGN-t egyéb „támadások” is érték, amelyben megkérdőjelezték az adatátvitel biztonságát, védetségét.¹³

A tapasztalatokon és a bírálatokon is okulva elindítottunk egy következő, önálló, zárt technológias kutatás-fejlesztést, amely a kifogásolt tételek javításán túl új képességeket is generált.

A K + F fő céljai: saját protokoll, saját titkosítási rendszer, saját adatbázis-kezelés és megjelenítés; a már bevált HW elemeket megtartani, ahol szükséges továbblépni, a teljes SW rendszert saját, zárt fejlesztés irányába transzformálni; új hordozók (légi járművek) bevonása a komplex repülésmeteorológiai adatgyűjtés folyamatába.

A több mérnökév fémjelezte munka főbb eredményei:

- saját/felhasználó által definiált, bővíthető adatstruktúra;
- jelszavas belépésvédelem, titkosított adatforgalom;
- saját szerver, távoli adatbázis-elérés;
- saját interaktív honlap – testreszabott felhasználói felületek;
- BME280 szenzoros GPS-helyzet jeladó (~ 100 db);
- vezeték nélküli (BT) programfeltöltés;
- földi vevőhálózat – közvetlen kapcsolat a szerverrel;
- GSM adatkapcsolat – telefonapplikáció.

A fejlesztés a legújabb megoldásokat keresve az IoT-technológia irányában indult el. Az ISM-frekvenciasáv megfelelt az igényeinknek, és az ott szerzett ismereteket sikerrel hasznosítottuk. Az adás-vétel minőségét gondosan tervezett és ellenőrzött antennákkal, RF áramköri megoldásokkal biztosítottuk. Az adó- és vevőberendezések távoli eléréssel folyamatosan felügyelhetők. Az egyes vevők teljes adatforgalmát napi bontásban, a vevőben és a szerveren is tároltuk. Az üzenetekhez többlépcsős azonosítást követően lehet hozzáférni – lecsökkentve az idegen beavatkozás lehetőségét.

Számos laboratóriumi és terepi kísérletet követően kialakítottunk egy nullszériás, majd sorozatgyártásra is alkalmas eszközparkot. Az intenzív fejlesztő munka első kézzelfogható eredménye a 2019. októberben Palma de Mallorca-n lebonyolított hőlégballonos versenyorozat, amelyen naponta két futamban 80–100 résztvevő vitte magával a „Tube”-okat, online közvetítve az eseményeket. Hasonlóra eddig nem volt példa – arra pedig még kevésbé, hogy ugyanezek meteorológiai adatokat is küldtek minden egyes üzenetükben. A versenyen működő öt mobil vevőállomást VNC-kapcsolattal távvezérelve üzemeltettük – adataikat közvetlenül és szerveren keresztül is elértük.

Hasonló sikerrel zárult a 2020. szeptember 11–18. között Szegeden folyó Közép-európai Kupa hőlégballonos verseny közvetítése.¹⁴ A (korlátozások miatt) 21 indulóra csökkent létszám ellenére a „Peviktera Balloon-tracking System” minden tervezett szolgáltatását teljesíteni tudta. A célra repülést ellenőrző három mobil és a repülőtéri irányítótoronyban működő stabil vevőállomás teljes lefedettséget biztosított. A vevők által rögzített meteorológiai adatbázist a további feldolgozás/elemzés céljából az NKE VOLARE program központi szerverén is tároltuk.

¹³ Vránics Dávid Ferenc – Palik Mátyás – Bottyán Zsolt: Esettanulmány egy nyílt repüléstámogató rendszer biztonságáról. *Repüléstudományi Közlemények*, 30. (2018), 1. 185–194.

¹⁴ Szeged 2020 CECUP.



4. ábra

A fejlesztés fázisai. Forrás: a szerzők felvételei

A jeladókat ezen kívül számos más hordozón – UAV-n, merevszárnyú motoros és motoros vitorlázó repülőgépen, sárkányrepülőn – is kipróbáltuk. Elsőrendű szempontként a rögzítést, mechanikai védelmet és a rádiófrekvenciás adás hatótávolságát jelöltük meg célul, mivel a szenzorok optimális elhelyezésére, kalibrálására az előzőek teljesülése után kerülhet sor.

A jelenlegi „cső” kivétel kiemelten jól vizsgázott a hőléggallos versenyek ütök-kapok körülményei között, és az árnyékolásoktól mentes, függőleges antennahelyzet is általában biztosítható volt, de ahol a nagy sebességű légáramlás az elhelyezésben és a mérésben is zavart okozhat – például a merevszárnyú repülőgépeken –, ott a külső borítás és a belső elrendezés is átalakítást igényel.

A legkedvezőbb rögzítési lehetőségeket a multirotoros drónoknál találtuk – a PVC-borítást (csövet) is elhagyhattuk, és a szenzor is teljesen szabad légáramba került. Ugyanitt kell hangsúlyozni a gyártó (Bosch) installálási ajánlásának betartását, amely a szenzorok elhelyezésére, védelmére és a méréseket befolyásoló körülményekre vonatkozik. Ez a különböző hordozók és eltérő repülési körülmények miatt egyedi kutatás-fejlesztési feladat, amelyre (az írásmű megszületéséig) méltatlanul kevés figyelmet tudtunk fordítani.

5. Összegzés

Az időjárás szélsőségeinek leginkább kitett kisgépes repülésre leselkedő veszély egyik formája a jegesedés, amelynek kialakulását a hőmérséklet, páratartalom mérésével előre lehet jelezni. A mérőeszközök kijuttatása – méretük, fogyasztásuk csökkenésével – oda küldött UAV-k vagy más „arra járó” kisgépek fedélzetén is megoldható.

A mért adatok közvetlen rádiókapcsolattal lejuttathatók – biztosítva a valós idejű jelzés/riasztás feltételeit –, vagy megfelelő tárolóeszközökön akkumulálva segítik a statisztikai elemzéseket, előrejelzéseket.

Az NKE GINOP pályázata által támogatott UAS ENVIRON munkacsoport a Peviktera Consultink Kft-vel többéves K + F tevékenységet folytatott a lehetőségek feltárása és a megoldások, fizikai megvalósítások érdekében.

Sikeresen alkalmaztuk az OGN-hálózaton (közreműködésünkkel) megteremtett műszaki lehetőséget – az OGN Trackerek repülésmeteorológiai szenzorként való használatát. Az eredményekről az ISARRA nemzetközi konferencián is beszámoltunk.

Időközben – az OGN gyenge pontjait kivéve – egy saját repüléskövető/meteorológiai adatgyűjtő hálózatot építettünk, amely zárt gyártástechnológiával, zavarás/beavatkozás elleni védelemmel, saját protokollal, kiterjesztett alkalmazási lehetőségekkel rendelkezik. A sportrepülésben több versenyen részt vett, nagyszámú meteorológiai adatot szolgáltató rendszer bizonyította az eszközök és az eljárás életképességét.

A továbbiakban is keressük a különböző kisgépes közreműködőket, akik alkalmasak (hajlandók) a szenzorok hordozására, meteorológusokat, akik segítenek a mérések megtervezésében, validálásában és a repülésirányítás szakembereit, akik megtalálják a lehetőséget a „nem szokványos módon” szerzett repülésmeteorológiai információk hasznosítására.

Felhasznált irodalom

- Gyongyosi et al.: *Meteorological Data in the Open Glider Network (OGN)*. Online: www.isarra.org/wp-content/uploads/2019/08/ISARRA_2019_Tue_Gy%C3%B6ngy%C3%B6si.pdf
- Hadvári Marianna – Szegedi Csaba – Csirmaz Kálmán – Németh Péter: *Országos Meteorológia Szolgálat időjárási radarhálózatának mérései*. Budapest, 2018. Online: www.met.hu/ismertetek/radar_ismerteto.pdf
- Óvári Gyula: Biztonságtechnika a repülésben: a repülőeszközök jégtelenítő rendszerei. *Repüléstudományi Közlemények*, (2008), ksz. 1–20. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2008_cikkek/Ovari_Gyula_poszter.pdf

Sándor Valéria – Vantuch Ferenc: *Repülésmeteorológia*. Budapest, Országos Meteorológiai Szolgálat, 2005.

Szeged 2020 CECUP. Online: <https://balloon-tracking.eu/index.php/about-us>

Vránics Dávid Ferenc – Palik Mátyás – Bottyán Zsolt: Esettanulmány egy nyílt repüléstámogató rendszer biztonságáról. *Repüléstudományi Közlemények*, 30. (2018), 1. 185–194. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018_1/2018-1-13-0460_Vranics_D_F-Palik_M-Bottyán_Zs.pdf

Wantuch Ferenc – Simon Sándor – Koczor Eszter: Légi jármű jegesedése egy esettanulmány kapcsán. *Repüléstudományi Közlemények*, (2011), ksz. 1–21. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2011_cikkek/Koczor_E_Simon-S_Wantuch-F.pdf

Weidinger Tamás: *A planetáris határréteg szerkezete, felszín-légkör kölcsönhatások*. é. n. Online: http://web.cs.elte.hu/~zempleni/wt_15.pdf



Sári János¹ – Beneda Károly² – Kavas László³

Repülőgép-hajtóművek égéstereinek áramlástanai vizsgálata számítógépes szimulációban

Napjainkban a repülőgép-hajtóművek szerkezetének, elemeinek tervezésében, gyártásában a mérnökök számára elengedhetetlen egy-egy olyan számítógépes szoftver, amely a valósághoz hűen képes a közegek áramlásának fizikai-matematikai modellezésére vagy éppen a megmunkáló eszközök munkájának optimalizálására. Esetünkben a szimulációval könnyedén helyettesíthetők a költséges tesztermékek, valamint ezzel párhuzamosan csökkenthető a kísérletek során keletkező környezetszennyező anyagok légtérbe jutása, valamint a kivitelezésre vagy az esetleges fejlesztésre szánt idő is minimalizálható. Erre a feladatra leggyakrabban az ANSYS számítógépes szoftvert alkalmazzák. Ez egy olyan numerikus áramlástanai szoftver, amely térben és időben folytonos műveleteket diszkrétizál, így a hajtóművek égéstereinek vizsgálatára kiválóan alkalmazható. Cikkünkben az említett szoftvernek a szerzők által kitűzött feladatra való alkalmasságának elemzését, majd az alkalmazás eredményét kívánjuk bemutatni. Az elemzés során az ANSYS CFX szoftver segítségével hajtottuk végre a különféle hajtóművek áramlástanai szimulációját. Célunk, hogy a publikáció végére az olvasó számára átfogó képet mutassunk az áramlástechnikai gépekben lejátszódó folyamatokról, ezen belül az égéster szimulációjáról.

Kulcsszavak: Ansys, CFD, hajtóműégőtér, numerikus szimuláció

A Fluid Dynamics Study of Aircraft Engine Combustion Chamber in Computer Simulation

Nowadays, in the design and production of the structure and elements of aircraft engines, it is essential for engineers to use computer software that is able to physically and mathematically model the flow of media or to optimise the work of machining tools. In our case, the simulation can easily replace costly test products, furthermore it can also reduce the release of pollutants into the air during experiments, and the time spent on construction or possible development can be minimised. The ANSYS computer software is most often used for this task. It is a numerical

¹ BSc-hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék, e-mail: sari.janos1999@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8861-3300>

² Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék, e-mail: kavas.laszlo@uni-nke.hu, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7375-3527>

³ Egyetemi adjunktus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedés és Járműmérnöki Kar Vasúti járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, e-mail: kbeneda@vrht.bme.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1900-7934>

fluid dynamics software that discretises continuous operations in space and time, making it excellent for examining combustion chambers in engines. In our article, we want to present an analysis of the suitability of the above mentioned software for the task set by the authors, and then to present the results of the application. During the analysis, we performed fluid flow simulations of various engines using ANSYS CFX software. Our aim is to provide the reader with a comprehensive picture of the processes taking place in flow engineering machines, including the combustion chamber simulation.

Keywords: *Ansys, CFD, engine combustion chamber, numerical simulation*

1. Bevezetés

Az áramlások modellezése alapján véve a gázok az áramlási térben lejátszódó folyamatainak tanulmányozásáról szól, a kijelölt térfogatban lezajló áramlás háromdimenziós leírásával. Ennek köszönhetően a berendezések olyan szegmensei is feltérképezhetővé válnak, amelyek esetleges hibáira csak az üzemi mérésekből lehetne bonyolult számítások révén következtetni. A szimulációs vizsgálattal könnyen kimutatható, hogy a problémás helyeken csak a bizonyos részegységeket szükséges megfelelően korrigálni vagy optimalizálni. Ahogy a nevéből is származik, CFD-modellezés során, lehetőségünk van nemcsak gázok, hanem folyadékok szimulációjára is, valamint a legújabb programváltozatok esetében kémiai reakciók elemzésére, ami számottevően hozzájárulhat az égéstérben lejátszódó procedúrák megértéséhez és természetesen elemzéséhez. Manapság a nagy teljesítményű számítógépek elterjedésének köszönhetően a CFD-programok könnyen elérhetőek és használhatók különféle intézmények, valamint kisebb cégek számára egyaránt.

A környezeti hatások, a különféle termikus és mechanikai terhelések, impulzusok, üzemeltetési viszonyok változtatása (például valamilyen alternatív tüzelőanyaggal történő üzemeltetésre átváltás) vagy akár az általános amortizáció következtében a hajtómű élettartama folyamatosan változhat, (csökkenhet vagy akár növekedhet is!), így kiemelkedően fontos a szilárdsági elemzések helyes, pontos végrehajtása. A hajtómű üzemeltetésének a valós maradék üzemidő pontos ismerete repülésbiztonsági és – legalább ugyanilyen súlyllyal tekintett – gazdaságossági kérdés is. Természetesen ezek a hatások véges elemes (*Finite Element Analysis, FEA*⁴) modulokkal szimulálhatók.⁵

2. Az Ansysről röviden

Ha van olyan olvasónk, aki már utazott repülőgépen, vezetett autót, használt számítógépet vagy okostelefont, akkor valószínűleg egy olyan termékkel találkozott, amelynek létrehozásában,

⁴ Finite Element Analysis (FEA): Adott fizikai jelenség szimulációja a véges elemes numerikus technikával. Lényege a fizikai prototípusok és kísérletek számának csökkentése, valamint az alkatrészek tervezésének optimalizálása a költségcsökkentés érdekében.

⁵ *About Ansys.* é. n.; Beneda Károly: *Gázturbinás sugárhajtómű égésterének modellezése ANSYS CFX szoftverrel.* Kutatói Referátum, Nemzeti Közszolgálati Egyetem GINOP-2.3.2-15-2016-00007.; Bicsák, György – Hornyák, Anita – Veress, Árpád: Numerical Simulation of Combustion Processes in a Gas Turbine. *AIP Conference Proceedings*, 1493. (2012), 1. 140–148.

megtervezésében, kivitelezésében az Ansys szoftver fontos, meghatározó szerepet játszott. A Swanson Analysis Systems Inc. nevű cég 1970-ben alakult, és mára már 4400 szakembert foglalkoztat. A szoftver alapvető felhasználási területei igen változatosak. Segítségével a felhasználónak lehetősége nyílik különféle mechanikai, áramlástani, valamint elektromágneses jelenségek szimulációjára. Ezen kompetenciák birtokában az Ansys a mérnökök számára megjósolhatóvá teszi a terméktervek viselkedését valós környezetben, amellyel a költséges, valamint környezetterhelő kísérletek és fejlesztési folyamatok redukálhatók. Az Ansys multifizikai szoftvercsomag képességei a hajtóművek égéstereinek modellezésében és analizálásában is igen számottevőnek bizonyulnak, ugyanis segítségével számos numerikus áramlástani (*Computational Fluid Dynamics, CFD*) szimuláció és szilárdságtani vizsgálat könnyedén megvalósítható, a megfelelő modulokkal. A numerikus áramlástani szimulációnak fontos része a validáció, azaz a kapott értékeket elengedhetetlen összevetni a valós adatokkal, hogy megbizonyosodhassunk a számítások pontosságáról.⁶

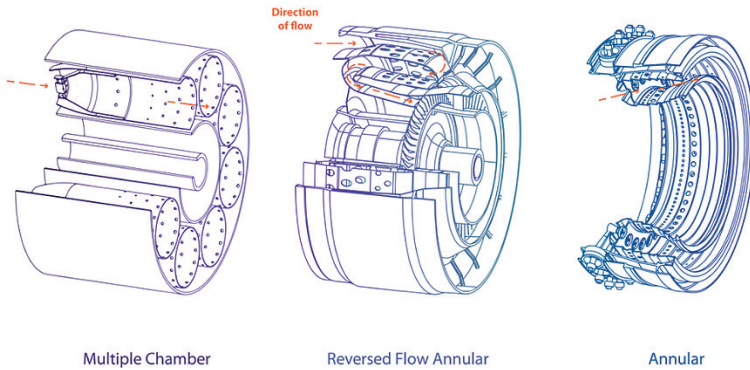
3. Égőtér típusok

Manapság a legtöbb modern katonai és civil utasszállító repülőgépet a gázturbinás hajtóművek valamely változatával hajtják. Annak ellenére, hogy ezeknek a hajtóműveknek különféle típusai léteznek, az égőtér valamennyiben ugyanazokat az elemeket tartalmazza (égőtérház, égőtér, tüzelőanyag-porlasztó/befecskendező fúvókák, egyéb rögzítő, pozícionáló mechanikus alkatrészek). Természetesen az égőtér típusának és elrendezésének helyes megválasztását nagymértékben a hajtómű tulajdonságai határozzák meg. Az égőtérben alapvetően a magas nyomású levegő a tüzelőanyaggal keveredve elég, és energia szabadul fel. Az égés minőségére, ezáltal a károsanyag-kibocsátásra is hatással van a porlasztás minősége, a párolgási idő, a párolgási sebesség, az áramlási sebesség és a nyomás.

Ebből következtetve elmondható, hogy a hajtóműben lejátszódó égésnek helyet adó égőtér szerkezete akkor mondható megfelelőnek, ha minél magasabb szinten teljesíteni képes az alábbi elvárásokat:

- a tüzelőanyag és a levegő elegyét hatékonyan kell elégetnie lerakódások (kokszosodás) minimalizálása érdekében, ugyanakkor kis nyomásvesztéssel működjön;
- megfelelően vezesse a forró gázokat a turbínaszakaszba;
- az égésnek teljes mértékben az égőtérben kell megvalósulnia;
- hűtse le az égésterméket arra a hőmérsékletre, amelyet a turbina lapátjai működési körülmények között kibírnak;
- megbízható és egyenletes gyújtás biztosítását tegye lehetővé;
- alacsony füst és egyéb szennyező gáznemű anyagok kibocsátása;
- megbízható karbantarthatóság, tartósság jellemezze.

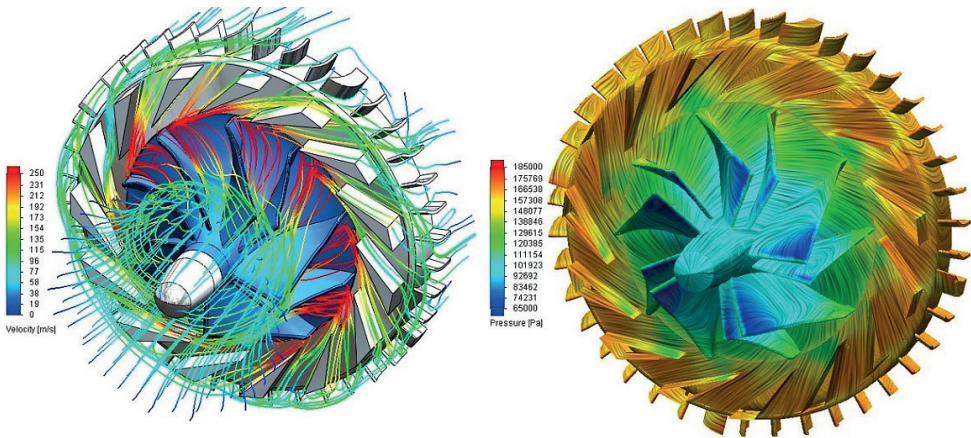
⁶ Csató Péter: *Gázturbinás hajtóművek égőtereinek numerikus vizsgálata, figyelembe véve az alternatív tüzelőanyagok alkalmazásának lehetőségét*. TDK-dolgozat, Szolnok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék, 2018.; Beneda Károly: *Az Ansys multifizikai szoftver alkalmazási lehetőségei gázturbinás hajtóművek numerikus analizálásában*. Kutatói Referátum, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, GINOP-2.3.2-15-2016-00007.



1. ábra

Égőtérfajták: csöves (balra), csöves-gyűrűs (középen), gyűrűs (jobbra). Forrás: *Combustion Chamber Types*. Jet-X, é. n.

Alapvetően háromféle égőtértípust különböztethetünk meg (1. ábra): csöves; csöves-gyűrűs; gyűrűs.⁷



2. ábra

Áramvonalak alakulása a kompresszor-járókerékben és diffúzorban. Forrás: Micro-turbine jet engine simulation and structural analysis using FloEFD™ and Cero® Simulate. Elérhető: https://frone.jp/public/products/FloEFD/WhitePaper/002_Small%20but%20Mighty%20Powerful.pdf

A legegyszerűbb égőtérforma a voltaképpen a kompresszort a turbinával összekötő egyes csövezetek, amit a gyakorlatban a túlzott nyomásvesztés miatt nem alkalmaznak. Ez a veszteség arányos a levegő sebességének négyzetével. A levegő sebességének redukálását diffúzorral és fordított áramlási zónával valósítják meg. A diffúzorok kialakításuk

⁷ Varga Béla – Kavás László: Gázturbinás hajtóművek égőterei és nyomásvesztésük becslése. *Repüléstudományi Közlemények*, 29. (2017), 2. 85–94.; *Gas Turbine Engines-Combustion Section*. Flight Mechanic, é. n.; Sánta Imre: *Repülőgép hajtóművek I. (Gázturbinás hajtóművek)*. Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgép és Hajók Tanszék, 2009.

szempontjából alapvetően téglalap, illetve kör keresztmetszetűek, valamint gyűrűsek vagy lapátosak lehetnek. A diffúzorban a növekvő belső átmérője miatt a sebességcsökkentéssel párhuzamosan növekszik a levegő statikus nyomása (2. ábra).⁸

Így nemcsak az égőtérbe kerülő levegő lassul le, megakadályozva a láng lefúvását és lehetővé téve a tüzelőanyaggal való megfelelő keveredést, hanem forró égéstermék jut vissza, ami növeli az égés hatásfokát. A diffúzor kialakításánál törekedni kell arra, hogy a falíródlási veszteség, valamint a leválásból származó veszteségérték együttesen minél alacsonyabb legyen. Ezt a további kettő égőtértípusnál is figyelembe kell venni.

Az 1940-es évek végén és az 1950-es évek elején a zömmel centrifugál kompresszorokhoz úgynevezett csöves égőterek kapcsolódtak. Az elrendezés fő hátránya, hogy nem egyenletes a kerület mentén a turbinalapátok hőterhelése. Az 1950-es évek közepétől megjelentek a csöves-gyűrűs égőtérrel rendelkező hajtóművek, amelyek kombinálták a gyűrűs égőterek kompaktságát a csöves égőterek mechanikai szilárdságával. A turbinalapátok hőterhelése ebben az esetben egyenletesebb, de lángtovábbító összekötő csövek beépítése továbbra is szükséges. Az 1960-as évektől kezdődően egyre gyakoribbá váltak a gyűrűs égőteres hajtómű-konstrukciók. Ebben a típusban a többivel ellentétben a tűzcső az égőtérház belsejében helyezkedik el, így a keverékkialakítás és az égés egy helyen megy végbe. Ennek egyik előnye a jobb keveredés és a nagyobb hatásfok. További előnyei közé sorolható, hogy a turbinák hőterhelése, azaz a gázhőmérséklet-eloszlás a turbina belépő keresztmetszetén egyenletes. Nagy hátrányuk, hogy esetleges cseréjük csak kizárólag a hajtómű teljes megbontásával lehetséges.⁹

4. Áramlási folyamatok az égőtérben

Az égőtérben lezajló folyamatok, jelenségek összefoglalása, valamint ismertetése messze meghaladná e munka terjedelmét és szándékát, mindazonáltal kötelességemnek érzem alapjaiban tárgyalni e témakört, hogy a kevésbé felkészült olvasó számára is egyszerűbbé válhasson a további ismeretanyag áttanulmányozása. Az égőtérben (3. ábra) végbemenő alapvető folyamatok szimulációjához, modellezéséhez fontos a benne lejátszódó áramlási folyamatokat is megvizsgálunk.¹⁰

Annak érdekében, hogy az égés a lehető legtökéletesebb legyen, az égőtérben turbulens áramlás létesítésére van szükség. Ilyenkor felmerülő probléma, hogy a turbulenciával párhuzamosan a nyomásvesztés is nőni fog. Tehát szükség van egy olyan pontosan megtervezett áramlásrendszerre, amelyben ez a hatás kis mértékben van jelen, valamint a hőközlés ennek ellenére is hatékony.

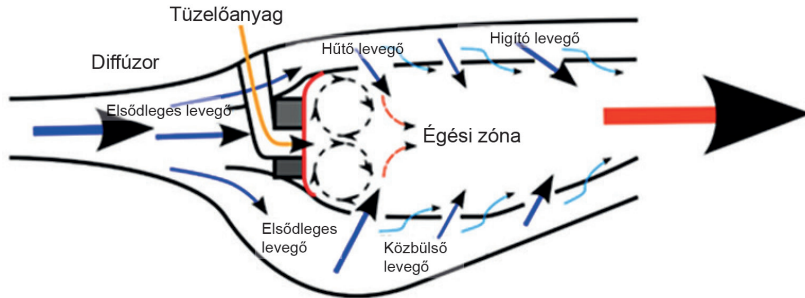
Ezt az áramlásrendszert primer, szekunder és terciér égési zónákra osztják (4. ábra). A primer égési zóna jelentőségét nem lehet eléggé nyomatékosítani, ugyanis ez határozza meg az utána következő folyamatokat, beleértve az égőtér hatásfokát, mivel itt keresztjezi egymást először a porlasztott tüzelőanyag a lelassult levegőmennyiséggel, valamint itt történik meg a gyújtása is. A gyújtás folyamatos biztosítása érdekében ellenáramú zónát hoznak

⁸ Pásztor Endre – Varga Béla: Energy- and Aerodynamic Examination of Slightly Backward Leaning Impeller Blading of Small Centrifugal Compressors. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 43. (2015), 4. 199–205.

⁹ *Gas Turbine Engines-Combustion Section* (é. n.) i. m.

¹⁰ *Correct air speed for fuel combustion*. Aviation, é. n.

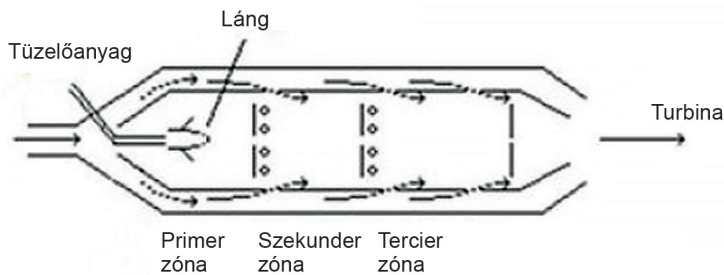
létre örvénykeltő segítségével, amely a forró égéstermékek egy hányadát használja fel, így elkerülve a lángkialvás kockázatát. Az égőtérben keletkező örvény az axiális irányú lapátok segítségével keletkezik. Az örvény közepe felé a nyomás folyamatosan csökken, aminek következtében a porlasztott tüzelőanyag- és levegőkeverék az égőtér belseje felé áramlik, tehát visszaáramlik. Ennek a folyamatnak az eredményeként létrejön egy úgynevezett recirkulációs zóna, amely függ a visszaáramlás nagyságától. Ez a hatás javítja az égés határfokát, de természetesen növeli az égőtér nyomásvesztését. Ennek megfelelően a két veszteség optimalizálására kompromisszumos megoldást kell találni.



3. ábra

Égőtér áramlásrendszere. Forrás: *Correct air speed for fuel combustion* (é. n.) i. m.

A szekunder égési zónában a tökéletlen égésből származó káros anyagokat kisebb mennyiségű hűtőlevegő segítségével hűtik le, amely elősegíti a korom kiégését, valamint a CO és az el nem égett szénhidrogének elégését. Ilyenkor fontos pontosan megválasztani a hűtőlevegő mennyiségét a túlhűtés elkerülés végett, elkerülve a hatásfok csökkenését.



4. ábra

Égési zónák. Forrás: *Combustion Chambers*. é. n.

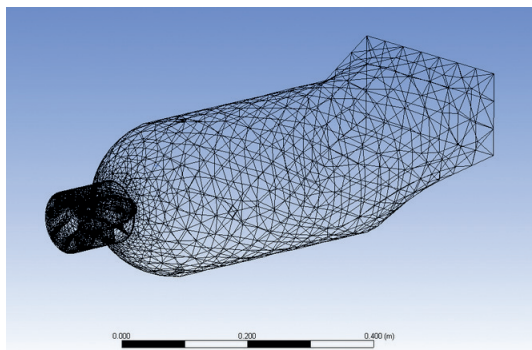
A tercier égési zónában (visszahűtési zóna) a fennmaradó levegő az égéstermékkel keveredve olyan hőmérsékletre hűl le, amelyet a turbina lapátjai már képesek „elviselni”, így növelve élettartamukat.¹¹

¹¹ *Combustion Chambers*. é. n.; Csató (2018) i. m.

4.1. Az égőtér modellezése Ansys CFX segítségével

Az Ansys típusú numerikus áramlástani szoftverek véges térfogatú módszeren alapulnak, tehát az áramlási teret, a vizsgált térfogatot diszkretizálják kisebb elemi térfogatokká.

Numerikus vizsgálatoknál, első lépésként minden esetben szükséges magát a geometriát megalkotnunk, jelen esetben az áramlási tér háromdimenziós modelljét, ami a későbbi munkánk alapját fogja képezni. A modellt megalkothatjuk az Ansys SpaceClaim vagy DesignModeller szoftverével, de akár különféle CAD-es programok segítségével is, mivelhogy a szoftver képes felismerni e programok kimeneti fájlformátumait. A program alkotóinak javaslatára, ilyenkor különösen figyelni kell a SpaceClaimben tervezett modell falaira, ugyanis a valóságban, ahol szilárd fal van, ott a modell üres, tehát inverze a valós geometriának (nem maga az égőtér van modellezve, hanem az általa körbehatárolt áramlási térfogat). Ebben a lépésben érdemes elgondolkodni a különféle egyszerűsítési lehetőségeken, amelyek nem okoznak szignifikáns változást az eredményekben.



5. ábra

Csőes-gyűrűs égőtér hálózása Ansys CFX használatával. Forrás: *Flow Modelling in a Gas Turbine Combustion Chamber*. é. n.

A következő lépés a legkritikusabb a modellezés során, amelyben a numerikus háló elkészítése, vagyis az áramlási tér diszkretizációja folyik. A teret felbontjuk háromdimenziós elemekből álló hálózott részre, tekintettel arra, hogy a szimuláció a térnek mely pontjaiban végez számítást. A hálóelemek geometriai komplexitásától és az elemeknek a méretétől függően különbözőek lehetnek (hexaéder, tetraéder, gúla, hasáb).

Az 5. ábra az égőtér hálózását szemlélteti egy példán keresztül. A képen látható a teljes égőtér a hibrid, hexa- és tetraédes elemeket is tartalmazó hálózattal, valamint megfigyelhető a kilépésnél a határretegben tapasztalható sűrítés. Ennek kivitelezése (a hexa- és tetraédes elemek összekapcsolása) nagy szaktudást igényel, így legtöbb esetben csakis tetraédes elemeket használnak. Az előző művelet során már említettük az esetleges egyszerűsítés lehetőségét, amelynek jelentősége a hálózás fázisban tapasztalható igazán. Az olyan vizsgálatokkal ellentétben, ahol már kis számú hálóelem is képes megfelelő pontosságot nyújtani (például mechanikai vizsgálatok), a numerikus folyamatok elemzésénél fontos olyan csomópontok létrehozása, ahol a sebességgradiens kiemelkedő. Itt a hálózás sűrűsége jóval nagyobb lesz a háló többi részéhez képest, így szükséges lehet a vizsgálat gyorsasága érdekében a kisebb elemek,

mint például az égésterben lévő fúvókák redukálása. Az Ansys a készítőknél köszönhetően rendelkezik egy automatikus javítási képességgel, így minimálisan is, de képes eltávolítani a jelentéktelen jellemzőket.

Elemek hálózásánál érdemes külön figyelmet fordítani a falak menti áramlásra (határ-réteg!), ugyanis a közeg sebessége a falon zérus, míg attól távolodva növekszik. A hálót ezért érdemes besűrűsíteni a számítási pontosság érdekében. Természetesen a számítás gyorsasága lényegesen függ a létrehozott háló összetételétől és kialakításától. Így nélkülözhetetlen egy hálófüggetlenségi vizsgálat elvégzése is, amely során elérhető az optimális rácssűrűség. Ilyenkor kiemelten fontos odafigyelni arra, hogy a rács elegendően sűrű legyen ahhoz, hogy megfelelően tudjuk vizsgálni a kiválasztott térfogatot, tehát minden fontos áramlási jelenség jelenjen meg. Emellett figyelni kell arra, hogy ne legyen szükségtelenül sűrű sem. Ennél a folyamatnál a rács sűrűségének az előző rácshoz képest hozzávetőleg a kétszeresére való növelése a bevett eljárás. Fontos tisztázni, hogy a határoló felület milyen valós tulajdonságokkal rendelkezik, valamint ellenőrizni, hogy a határrétegben lezajló folyamatok modellezésére a szoftver milyen közelítést alkalmaz. A felülethálózásnál a felhasználónak lehetősége van automatikusan létrehozni a hálót az Ansys képességének köszönhetően. Ilyenkor figyelni kell a hálózási beállítások helyességére, hogy a folyamat megfelelően valósuljon meg a felületen. Összegezve tehát a hálózás meghatározza, befolyásolja a megoldás pontosságát, konvergenciáját és sebességét.

Ezt követően lehetséges a különféle peremfeltételek, valamint a szimulációra vonatkozó kritériumok megadása, mint például a közegáramlás iránya, anyagtulajdonságok és a be- és kilépési paraméterek, amit a CFX-PRE segítségével valósíthat meg a felhasználó. Mivel a hajtómű több üzemmódon és különféle magasságokon képes működni, így fontos meghatározni az ehhez szükséges paramétereket is, gondolva itt a hajtóművön kívüli atmoszférikus nyomásra, vagy akár a tüzelőanyag-típushoz tartozó tulajdonságokra.

Az áramlás örvényes jellegének modellezése nagy tudást igénylő feladat. A jelenségek numerikus leképezésének sikere jelentősen függ a kiválasztott turbulenciamodell kiválasztásától.

Így a peremfeltételek megadásánál releváns az alkalmazandó turbulenciamodellt is kiválasztani, amelyek közül a leggyakoribbak:

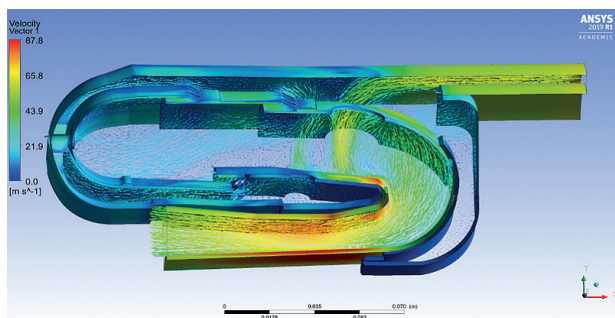
- Spalart–Allmaras (viszonylag egyszerű számításoknál alkalmazzák, mivel a komplex geometriák modellezésére nem alkalmas).
- Mixing length Model (az egyik leggyakrabban használt modell, amely alkalmas keveredési, valamint határrétegek megoldásához, azonban nem alkalmazható határrétegválás- és recirkulációfolyamatok vizsgálatához).
- $k-\epsilon$ Model (a legegyszerűbb modellek egyike, amelynek legnagyobb hátránya, hogy gyenge teljesítményt nyújt a különféle repülőmérnöki vizsgálatoknál. Azonban kitűnő alternatíva ipari felhasználások esetén).
- $k-\omega$ Model (kizárólagos fal menti alkalmazhatósága miatt csakis külső aerodinamikai folyamatokra alkalmazható).
- Shear Stress Transport Model (SST) (az előző két turbulenciamodell tulajdonságait kombinálva működik. A falhoz közel a $k-\omega$, attól távolodva a $k-\epsilon$ modellt használja, így kiváló választás aerodinamikai problémák megoldására).
- Reynolds Stress Model (már kezdeti vagy peremfeltételek megadásával is megbízhatóan alkalmazható, képes a legtöbb átlagáramlási tulajdonságot kellően nagy precizitással leírni).

A turbulenciamodell kiválasztásán kívül szükséges egy megfelelő égésmodell kijelölése is. Természetesen az Ansys CFX-ben számos ilyen modell áll rendelkezésre a felhasználónak, amelyek a térfogati égés, valamint a lángzónában történő reakciók leírására alkalmasak.

Ilyen például:

- Eddy Dissipation Model (EDM);
- Finite Rate Chemistry Model (FRC);
- Combined (EDM/FRC);
- PDF Flamelet Model (PFM);
- Burning Velocity Model (BVM);
- Extended Coherent Flame Model (ECFM);
- Fluent Non-Premixed (FnPM).

A soron következő lépés az Ansys Solver modul segítségével a számítás lefolytatása, amelyben a szoftver az általunk megadott kezdeti feltételek alapján kalkulálja ki az áramlási térben keletkező viszonyokat. A modul az egyenleteket rekurrensen oldja meg, így beállíthatjuk az iterációk számát. Ilyenkor célszerű megfigyelési pontokat létrehozni, amelyekkel a különféle megmaradási törvényszerűségek teljesítését vizsgálhatjuk, ellenőrizhetjük. Az eredmények kiértékelése, konklúzió megállapítása a szimulációs folyamat utolsó lépése.



6. ábra

Saphir-5 hajtómű égéstere Ansys-szimulációban. Forrás: Dr. Beneda Károly saját mérése

Mint az a bemutatott 6. ábrán is látható, a szimuláció eredményeképpen láthatóvá váltak az egyes égőtér részben kialakuló gázáramlási sebességek. Ugyanilyen módon szemléltethetők a hőmérsékleti és nyomáseloszlási jellegzetességek is. Számos megjelenítési lehetőség áll rendelkezésre egy esetleges értékelhető kép létrehozására, valamint a megadott feladat optimális eredményére.¹²

¹² Beneda Károly: Gázturbinás sugárhajtómű égésterének modellezése ANSYS CFX szoftverrel. i. m.; Beneda Károly: Az Ansys multifizikai szoftver alkalmazási lehetőségei gázturbinás hajtóművek numerikus analizisében. i. m. (9. lj.) Jordi Bonet Ruiz – Joan Llorens Llacuna: *Study of Combustion Using a Computational Fluid Dynamics Software (ANSYS)*. Universitat de Barcelona, 2015; Csató (2018) i. m.; Cîrciu Ionică et al.: Aircraft Engine Combustion Chamber Performances-Numerical Evaluation. *Applied Mechanics and Materials*, 811. (2015), 167–171. Ibrahim I. Enagi – K. A. Al-attab – Z. A. Zainal: Combustion chamber design and performance for micro gas turbine application. *Fuel Processing Technology*, 116. (2017), 258–268.; Jordan Gilmore: *Computational Fluid Dynamics Analysis of Jet Engine Test Facilities*. Christchurch, New Zealand, Mechanical Engineering at the University of Canterbury, 2011. *Flow Modelling in a Gas Turbine Combustion Chamber* (é. n.) i. m.

5. Összegzés

Az Ansys-féle szimulációk segítségével a felhasználó viszonylag gyorsan és egyszerűen képes látványos eredményeket kivitelezni, elérni, de minden esetben fontos valamilyen validálási folyamatot elvégezni annak érdekében, hogy a szimulációról kijelenthető legyen, hogy totálisan megfelel az általa ténylegesen modellezett jelenségeknek. Mivel a szoftvercsomag számos területet ölel fel, így belátható, hogy nemcsak égőtér-modellezésre alkalmas, hanem a hajtómű károsanyag-kibocsátásának mérésére is. Továbbá segítségével könnyedén vizsgálhatjuk az alternatív tüzelőanyagok viselkedését az égőtérben.

Felhasznált irodalom

- About Ansys.* é. n. Online: www.ansys.com/about-ansys
- Beneda Károly: *Az Ansys multifizikai szoftver alkalmazási lehetőségei gázturbinás hajtóművek numerikus analízisében.* Kutatói Referátum, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2016, GINOP-2.3.2-15-2016-00007.
- Beneda Károly: *Gázturbinás sugárhajtómű égésterének modellezése ANSYS CFX szoftverrel,* Kutatói Referátum, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, GINOP-2.3.2-15-2016-00007.
- Bicsák, György – Hornyák, Anita – Veress, Árpád: *Numerical Simulation of Combustion Processes in a Gas Turbine.* *AIP Conference Proceedings*, 1493. (2012), 1. 140–148. Online: <https://doi.org/10.1063/1.4765482>
- Bonet Ruiz, Jordi – Joan Llorens Llacuna: *Study of Combustion Using a Computational Fluid Dynamics Software (ANSYS).* Universitat de Barcelona, 2015.
- Cîrciu Ionică – Rotaru Constantin – Luculescu Doru – Constantinescu Cristian: *Aircraft Engine Combustion Chamber Performances-Numerical Evaluation,* *Applied Mechanics and Materials*, 811. (2015), 167–171. Online: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.811.167>
- Combustion Chamber Types.* Jet-X, é. n. Online: www.jet-x.org/a4.html
- Combustion Chambers.* é. n. Online: <https://diren.mines-paristech.fr/Sites/Thopt/en/co/chambres-combustion.html>
- Combustion Section of Aircraft Gas Turbine Engine. Online: www.aircraftsystemstech.com/p/combustion-section-combustion-section.html
- Combustor – Burner.* Online: www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/burner.html
- Correct air speed for fuel combustion.* Aviation, é. n. Online: <https://aviation.stackexchange.com/questions/33089/how-is-the-correct-air-speed-for-fuel-combustion-obtained-at-the-inlet-of-the-co>
- Csató Péter: *Gázturbinás hajtóművek égőtereinek numerikus vizsgálata, figyelembe véve az alternatív tüzelőanyagok alkalmazásának lehetőségét.* TDK-dolgozat, Szolnok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék, 2018. Online: www.repulestudomany.hu/tdk/2018_Csato_Peter_SZD.pdf
- Enagi, Ibrahim I.–K.A. Al-attab – Z.A. Zainal: *Combustion chamber design and performance for micro gas turbine application.* *Fuel Processing Technology*, 166. (2017), 258–268. Online: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.05.037>
- Flow Modelling in a Gas Turbine Combustion Chamber.* é. n. Online: <http://cfd2012.com/ansys-cfx-gas-turbine-combustor.html>

- Gas Turbine Engines-Combustion Section (Part 1–2)*. Flight Mechanic, é.n. Online: www.flight-mechanic.com/gas-turbine-engines-combustion-section-part-one/
- Gilmore, Jordan: *Computational Fluid Dynamics Analysis of Jet Engine Test Facilities*. Christchurch, New Zealand, Mechanical Engineering at the University of Canterbury, 2011.
- Mechanical Analysis, Small but Mighty Powerful, Micro-turbine jet engine simulation and structural analysis using FloEFD™ and Cero® Simulate*. Online: https://frone.jp/public/products/FloEFD/WhitePaper/002_Small%20but%20Mighty%20Powerful.pdf
- Pásztor Endre – Varga Béla: Energy- and Aerodynamic Examination of Slightly Backward Leaning Impeller Blading of Small Centrifugal Compressors. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 43. (2015), 4. 199–205. Online: <https://doi.org/10.3311/PPtr.8093>
- Sánta Imre: *Repülőgép hajtóművek I. (Gázturbinás hajtóművek)*. Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgép és Hajók Tanszék, 2009.
- Varga Béla – Kavás László: Gázturbinás hajtóművek égőtere és nyomásvesztésük becslése. *Repüléstudományi Közlemények*, 29. (2017), 2. 85–94.

A GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légiközlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen – VOLARE” című projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A kutatás a fenti projekt „AVIATION_FUEL” nevű kiemelt kutatási területén valósult meg.





Novoszáth Péter¹ – Szilágyi Balázs²

A tengerentúli járatok jelentősége a közép-európai regionális repülőterek fejlesztésében

Tanulmányunk legfőbb célja az, hogy megvizsgálja, a tengerentúli járatok, különös tekintettel a Kínából érkező légi járatok milyen szerepet játszanak, játszhatnak egy térség, egy régió fejlesztésében. Hol és milyen módon érdemes és lehet ösztönözni a tengerentúli járatok elterjedését a regionális repülőterek fejlesztésében? A tengerentúli légi járatok milyen előnyökkel járhatnak a légi áru- és utasforgalom fejlesztése vonatkozásában, és egyúttal milyen veszélyeket hordozhatnak magukban egy régió számára? Közismert az, hogy Közép-Európa számos regionális repülőtere tudatosan törekszik a beutazó turizmusának és a légi áruforgalom növelése érdekében tengerentúli járatok nyitására. Melyek a legfőbb tapasztalatai ezeknek az erőfeszítéseknek? Magyarországon hol és milyen módon lenne érdemes belevágni ilyen irányú fejlesztésekbe?

Kulcsszavak: a régiók versenyképességének növelése, a Kínával való gazdasági kapcsolatok fejlesztési lehetőségei, regionális fejlesztések, regionális repülőterek, tengerentúli járatok, területi fejlesztések

The Significance of Overseas Flights in Developing Regional Airports of Central Europe

The main objective of our paper is to examine the role that overseas flights, especially those arriving from China, may play in the development of an area or region. Where and how is it worth motivating the spread of overseas flights in the development of regional airports? How may the development of passenger and freight transport benefit from overseas flights, and what dangers may it bring with itself for a region at the same time? It is well known that several regional airports of Central Europe deliberately endeavour to launch overseas flights in order to increase incoming tourism and freight transport. What experience have been brought by such efforts? Where and how to undertake such investments in Hungary?

Keywords: increasing competitiveness of regions, investment possibilities of economic relations with China, development of regions, regional airports, overseas flights, regional development

¹ Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Közpénzügyi Tanszék, e-mail: Novoszath.Peter@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8755-6858>

² Doktoranduszhallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Közigazgatástudományi Doktori Iskola, e-mail: Szilagyibalazs@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2794-6464>

1. Bevezetés

A légi közlekedési ágazat nehéz üzlet. A haszonkulcsok nem magasak, a repülőgépek üzemeltetése és fenntartása nagyon drága, a kormányzati szabályozások, különösen az adózás sokszor rendkívül nehézkes és kiszámíthatatlan. Ezenkívül a kereslet betegségek, recesszió, háború vagy terrorizmus miatt is egyik pillanatról a másikra drasztikusan lecsökkenhet. Ugyanakkor, ha egy légitársaság kiemelkedően nyereséges útvonallal rendelkezik, akkor mindez alapvetően változtathatja meg az adott légitársaság pénzügyi helyzetét. A légitársaságok járatai a célállomások egyedi sajátos keverékét hozzák létre, egyes útvonalak magas napi gyakorisággal működnek, míg mások pedig csak napi egyszeri szolgáltatással. Minden légitársaság számára van egy csoportja a jövedelmező útvonalaknak, ahol akár a versenyelőnyük, akár a piaci körülmények, akár a korlátozott verseny kimagasló bevételt eredményezhetnek számukra. Ezeket az útvonalakat azután minden áron védik, igyekeznek megtartani és folyamatosan fejleszteni.

2. A világ légitársaságainak legnagyobb bevételt hozó útvonalai

Több elemzés is készült már arról, hogy 2019-ben a világ legnagyobb légitársaságai számára mely útvonalak termelték a legtöbb bevételt a világ minden táján,³ illetve mely útvonalak generálták a legtöbb bevételt óránként.⁴ Ezek az elemzések egyaránt az OAG Aviation Worldwide adatbázisa alapján készültek, amelyek segítségével nyomon követhetők azok a légitársaságok által repült útvonalak, amelyek a legtöbb bevételt hozták egy adott időszakban.⁵

Az észak-amerikai útvonalak uralják a globális rangsort. Ugyanakkor a legtöbb bevételt és gyakran a legtöbb kérészt is az Amerikai Egyesült Államok északkeleti része és Európa közötti légi járatok hozták. E járatok közül is kiemelkedik a British Airways légitársaság London Heathrow – New York JFK közötti szolgáltatása, amely 1,15 milliárd dollár bevétellel 2019-ben is elsőnek bizonyult az összes útvonal közül. Ráadásul az óránkénti bevétel mintegy 10%-kal növekedett az előző évhez képest. Mivel a járaton az ülések több mint 30%-a az első és az üzleti osztályon van, ennek az útvonalnak a fontossága és értéke a légitársaság számára egyértelmű.

Mivel az elmúlt évtizedben a tíz legjobb útvonal és légitársaság változatlan maradt, ez rámutat arra, hogy ezek mennyire értékesek a légitársaságok számára (1. ábra). Az óránkénti bevételadatokat elemzése ugyanakkor jelentős eltéréseket is felfed. Míg a legnagyobb bevételt generáló LHR – JFK (London – New York) útvonal óránként 27 159 dollárt hozott a British Airways számára, addig az egyre versenyképesebb YYZ – YVR (Torontó – Vancouver) piac valószínűleg az alacsony költségvetésű légitársaságokkal való verseny hatására mindössze 11 936 dollárt generált óránként az Air Canada számára.

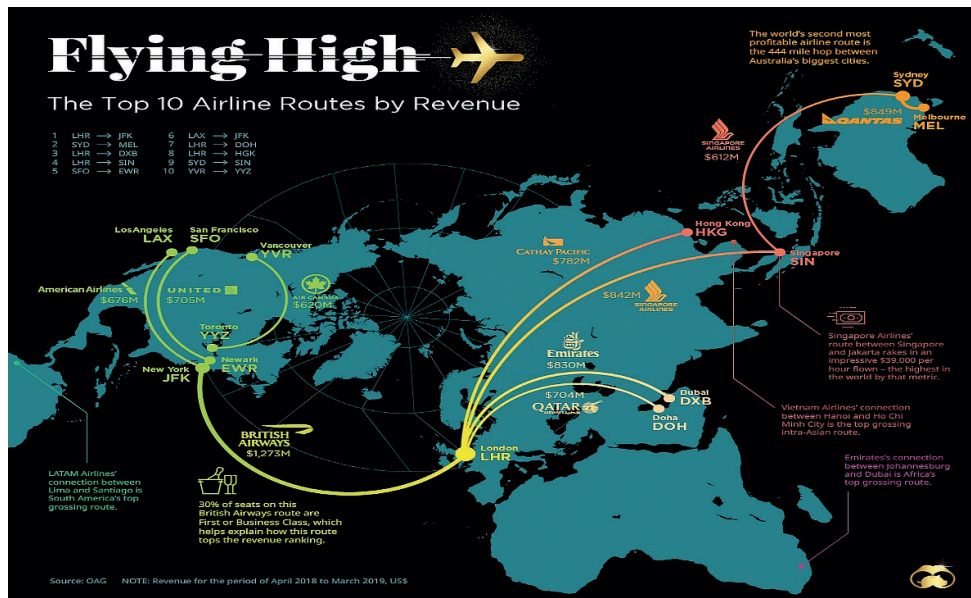
Érdekes módon, az óránkénti bevétel alapján az első tíz útvonal közül kilencnél csökkent a bevétel az előző évhez képest, ami arra utal, hogy valószínűleg a többi légitársaság és a közvetett útvonalak közötti verseny szintje egyaránt intenzív. A rendelkezésre álló kapacitások és az elérhető bevételek közötti összefüggést legjobban a Heathrow-ról induló tíz legfontosabb útvonal magyarázza. E tíz útvonalnak csaknem felét a Oneworld Alliance tagjai üzemeltetik,

³ Nicholas LePan: *Flying High: The Top Ten Airline Routes by Revenue*. Visual Capitalist, 2020.

⁴ John Grant: *Billion Dollar Route – Jewels in the Network*. OAG, 2019.

⁵ OAG Aviation Worldwide: *The world's leading provider of travel data and insight*. 2020.

a Skyteam Alliance tagútvonalainak hiányában. Mindebből jól látszik, hogy a nagy tengerentúli járatokat üzemeltető légitársaságok miért rohannak a rendelkezésre álló résidők kitöltésére, a meglévő fuvarozók pedig mennyire védik hálózatukat.



1. ábra

A világ 10 legnagyobb bevételt termelő kereskedelmi repülési útvonala. Forrás: LePan (2020) i. m.

A transzkontinentális útvonalak uralják az amerikai hazai piacot is a LAX – JFK útvonal például kétszer szerepel az Észak-Amerika tíz legnagyobb bevételt hozó rangsorában. Az American Airlines mellett a Delta Airlinesnak is jól jövedelmezett ezt az útvonalat üzemeltetnie. Annak ellenére, hogy Ázsia gazdasági szuperhatalommá nőtte ki magát, nincsenek olyan utak, amelyek át tudták volna lépni az 1 milliárd dolláros bevételt. A Singapore Airlines Szingapúr (SIN) és a londoni Heathrow (LHR) közötti járata vezet jelenleg az ázsiai járatok listáját, amely 2019-ben 736 millió dollár bevételt generált.

Végző soron természetesen a bevétel önmagában csak egy mérőszám. A tengerentúli, hosszútávú járatoknál alkalmazott széles törzsű géppark egyúttal magas üzemeltetési költségeket is jelent. Ugyanakkor ugyanolyan valószínű, hogy ezeknek a légitársaságoknak a működési nyeresége a saját hálózatában a legmagasabb. A bemutatott elemzések szerint nem valószínű, hogy az elkövetkező néhány évben nagy változás történik e táblázatokban (1. táblázat) vagy azokon kívül, amíg nem történnek jelentős változások a légitársaságok rendelkezésre álló gépparkban, kapacitásokban, ez az, ami leginkább tartósan biztosítja a rangsorban jelenleg előkelő helyeken szereplő légitársaságok számára a megszerzett státuszuk megőrzését.

1. táblázat

A tíz legjobb útvonal a légitársaságok számára a generált bevételek alapján. Forrás: John Grant: *Billion Dollar Route – Jewels in the Network*. OAG, 2019

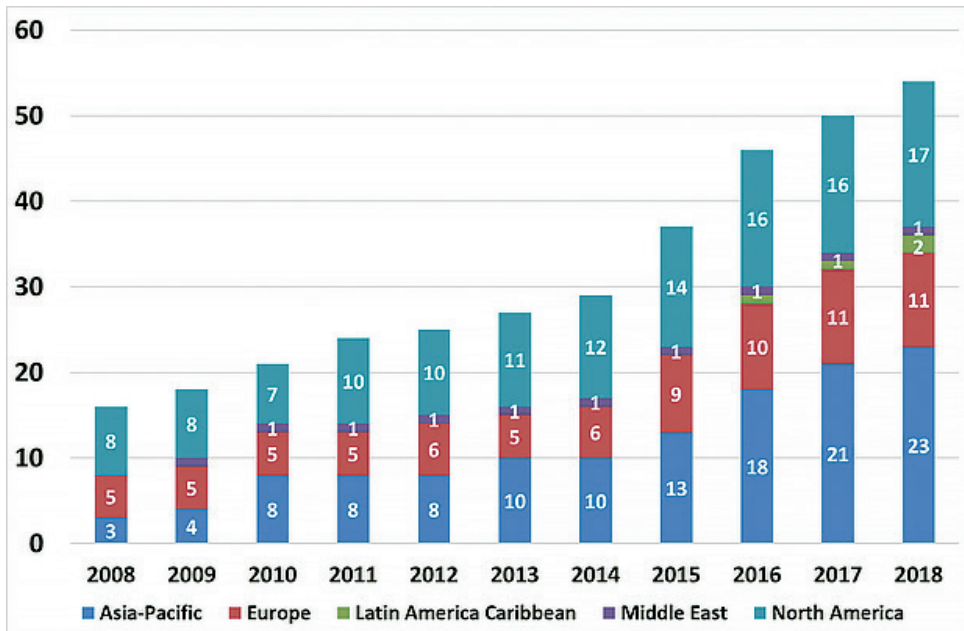
Légitársaság	Repülőtér-pár	Összes bevétel 2017/18 US\$	Összes bevétel 2018/19 US\$	Menetrend szerinti órák 2017/18	Menetrend szerinti órák 2018/19	Egy órára eső bevétel 2017/18 US\$	Egy órára eső bevétel 2018/19 US\$
British Airways	JFK – LHR	1 272 636 497	1 159 126 794	42 116	42 680	30 217	27 159
Qantas Airways	MEL – SYD	849 369 146	861 260 322	35 264	36 229	24 086	23 773
Emirates	LHR – DXB	829 700 504	796 201 645	32 378	31 943	25 625	24 926
Singapore Airlines	LHR – SIN	842 433 414	735 597 614	38 882	39 189	21.666	18 771
United Airlines	SFO – EWR	704 637 035	689 371 368	56 693	53 516	12 429	12 882
American Airlines	LAX – JFK	675 815 760	661 739 788	50 581	50 519	13 361	13 099
Qatar Airways	LHR – DOH	703 998 629	639.122 609	31 264	31 306	22 518	20 415
Cathay Pacific Airways	HKG – LHR	781 892 182	604 595 063	44 205	43 538	17 688	13 887
Singapore Airlines	SYD – SIN	612 294 275	549 711 946	27 847	26 402	21 988	20 821
Air Canada	YVR – YYZ	620 300 509	541 122 509	48 252	45 334	12 855	11 936

Mindazonáltal azt sem szabad elfelejtenünk, hogy az egyre intenzívebb verseny a légi útvonalak piacán egyre több újabb versenytársat fog terelni a legnagyobb bevételt hozó tengerentúli, hosszú távú járatok piacára, illetve egyre több légitársaság fog megpróbálkozni újabb útvonalak megnyitásával a nagyobb haszon reményében.

3. Súlypontváltás a világ leggyorsabban növekvő repülőterei között

Míg 2008-ban 16 olyan repülőtér volt, ahol évente több mint 40 millió utas volt a forgalom, ez a szám 2018-ra 54 repülőtérre nőtt. Összességében ezek a repülőtérrel 2018-ban átlagosan 5,1%-kal növekedtek az egy évvel korábbi utasforgalomhoz viszonyítva. A növekedés ilyen szintje példátlan, különösen azért, mert az e kategóriába tartozó repülőtérrel jelentős része még ma is Észak-Amerika és Európa érett piacain működik. Ugyanakkor az ázsiai-csendes-óceáni térség, amely számos feltörekvő piacnak ad otthont, rendelkezik ma már legtöbb legnagyobb repülőtér-forgalmat lebonyolító csomóponti repülőtérrel. Szám szerint 23 olyan repülőtér van ebben a térségben, amely évente több mint 40 milliós utasforgalmat kezel. Ennek köszönhetően mára már az ázsiai-csendes-óceáni nagy csomópontok a globális légi forgalom 42%-át teszik ki. Észak-Amerika ma már csak a második, 17 megaközponttal (lásd a 2. ábrát). 2018-ban 17 észak-amerikai repülőtér bonyolított le 40 millió utasnál nagyobb forgalmat. Mindez a globális légi forgalom 31%-át tette ki.⁶

⁶ Patrick Lucas: *The eastward shift and the world's fastest-growing airports*. ACI Insights, 2019.



2. ábra

A világ 40 milliós utasforgalmat meghaladó repülőtereinek száma régióként (2008–2018). Forrás: ACI: ACI Annual World Airport Traffic Dataset. 2019. felhasználásával Patrick Lucas: *The eastward shift and the world's fastest-growing airports*. ACI Insights, 2019.

A világ leggyorsabban növekvő repülőtereinek többsége a feltörekvő piacokon helyezkedik el, és ezek jelentős része az ázsiai-csendes-óceáni térségben található. A leggyorsabban növekvő 30 legfontosabb repülőtér közül 12 Kínában vagy Indiában található. A top 30 közül öt indiai. India a liberalizáltabb légi közlekedési piac felé történő elmozdulása és az ország megerősödő gazdasági alapjai egyaránt hozzájárultak ahhoz, hogy a légi közlekedés az egyik leggyorsabban növekvő piaci ágga váljon, a forgalom viszonylag rövid időn belül való rendkívül gyors növekedésével. Bangalore (BLR) és Hyderabad (HYD), két gyorsan növekvő hub repülőtér Indiában, amelyek utasforgalma 29,1%-kal, illetve 21,9%-kal nőtt 2018-ban, és ezzel a világ leggyorsabban növekvő repülőterei rangsorában az első és a harmadik helyet foglalták el a 15 milliónál nagyobb utasforgalmat lebonyolító repülőterek között.

A törökországi mediterrán turizmus és üdülőhelyek egyik fő kapuja az Antalya Nemzetközi Repülőtér (AYT) utasforgalma 2018-ban 22,1%-kal nőtt, ezzel a második helyre került ugyanabban a rangsorban. A nagy orosz repülőtereknél jelentős forgalomnövekedés következett be a 2016-ban tapasztalt gazdasági recessziót követően. A repülőterek forgalmának kiugró növekedését eredményezte a FIFA világbajnokság, amely Oroszországban, 2018 nyarán zajlott. Az orosz fővárost, Moszkvát kiszolgáló két repülőtér a Vnukovo Nemzetközi Repülőtér (VKO) és a Szeremetyevo Nemzetközi Repülőtér (SVO) utasforgalma 2018-ban 18,4%-kal, illetve 14,3%-kal növekedett.

Jinan Yaoqiang nemzetközi repülőtér (ZSJN) szolgálja ki Csinant (Jinan), Santung (Shandong) tartomány fővárosát. 2018-ban a Jinan Yaoqiang Nemzetközi Repülőtér Kína 25. legforgalmasabb repülőtere volt 16 611 795 utassal. Mindez annak is köszönhető, hogy a Sichuan Airlines

2016 decemberétől megkezdte non-stop interkontinentális járatok indítását Csinanból Los Angelesbe (2. táblázat).

2. táblázat

Az öt leggyorsabban növekvő repülőtér 2018-ban a 15 milliónál nagyobb utasforgalmat lebonyolító repülőterek között. Forrás: ACI (2019) i. m. felhasználásával Lucas (2019) i. m.

Sor-rend	Város, ország	Kód	Utasok száma 2018-ban	Éves változás	Földrész	Világ rangsor helyezés
1.	Bangalore, India	BLR	32 331 783	29,1%	Ázsia-Óceánia	66.
2.	Antalya, Törökország	AYT	31 953 777	22,1%	Európa	67.
3.	Hyderabad, India	HYD	20 903 930	21,9%	Ázsia-Óceánia	125.
4.	Moszkva, Oroszország	VKO	21 478 486	18,4%	Európa	118.
5.	Csinan, Kína	TNA	16 611 795	16,0%	Ázsia-Óceánia	148.

Az Egyesült Államok középnyugati részén működő légi teherfuvarozási csomópont, a Chicago Rockford International Airport (RFD) volt 2018-ban a leggyorsabban növekvő repülőtér azon repülőterek között, amelyek több mint 250 ezer tonna légi rakományt kezeltek egy évben. Az amerikai repülőtér forgalma 2018-ban 56,6%-kal növekedett, amikor a UPS után az Amazon online kiskereskedelmi óriás e-kereskedelmi teherhordó központjává vált (lásd 3. táblázat). Az amerikai repülőtér 1994 óta a légi teherfuvarozási multinacionális mamut cég, a UPS központi hub repülőtere.

3. táblázat

Az öt leggyorsabban növekvő repülőtér 2018-ban a 250 ezer tonnánál nagyobb áruforgalmat lebonyolító repülőterek között. Forrás: ACI (2019) i. m. felhasználásával Lucas (2019) i. m.

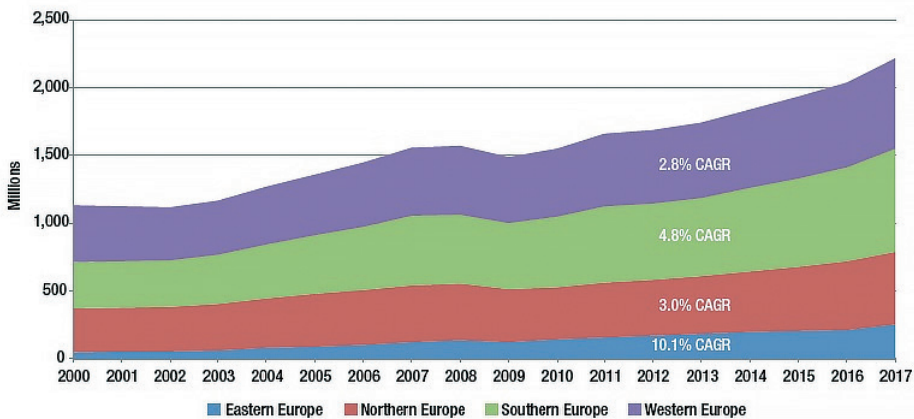
Sor-rend	Város, ország	Kód	Utasok száma 2018-ban	Éves változás	Régió	Világ rangsor helyezés
1.	Rockford IL, Egyesült Államok	RFD	306 332	56,6%	Észak-Amerika	86.
2.	Nairobi, Kenya	NBO	342 759	25,2%	Afrika	80.
3.	Liege, Belgium	LGG	871 956	21,6%	Európa	33.
4.	Xi'An, Kína	XIY	312 639	20,3%	Ázsia-Óceánia	85.
5.	Philadelphia, PA, Egyesült Államok	PHL	503 766	20,0%	Észak-Amerika	61.

2017-ben szintén nyilvánvaló volt az Európában és más régiókban, például Ázsia és a Közel-Kelet közötti távolsági szakaszok nemzetközi forgalmának növekedése. A hosszú távú olcsó üzleti modell növekvő lendülete, különösen a transzatlanti szegmenseken az ipar fontos fejlődését jelentette. Az üzleti modellek elmosódása vagy hibridizációja a hagyományos teljes körű szolgáltatást nyújtó és az olcsó légitársaságok között továbbra is fontos fejlemény az iparban, különösen az európai piacokon. Ennek az új, játékot megváltoztató környezetnek a tüneteként 2017-ben jelentős számú légitársaság csődöt és konszolidációs hullámot látott. Ugyanakkor az Európán belüli piacon létező olcsó légitársaságok, például a Ryanair, az easyJet, a Wizz Air és a Jet2 folyamatos behatolása megmutatja ennek az üzleti modellnek az ellenállóképességét bizonyos piaci szegmensekben. Európán belül azok az útvonalak, amelyek a London Gatwicket (LGW) és a Paris Orlyt (ORY) összekötik a spanyol úti célokkal, mint például a Barcelona (BCN), egyaránt mutattak nagy forgalmat és jelentős növekedést az előző évhez

képest. A London Heathrow (LHR) és Hongkong (HKG) közötti távolsági útvonalon továbbra is robusztus a forgalom.

3.1. Kelet-Közép-Európa az elmúlt évtizedben a növekedés legfontosabb tényezőjévé vált Európában

A Nyugat- és Dél-Európában található repülőterek továbbra is az európai utasforgalom jelentős részét kezelik. Ezek a térségek 2000 óta az egész kontinens forgalmának 64%-át tették ki; átlagos éves növekedési ütemük 2,8%, illetve 4,8% volt. Kelet-Közép-Európa azonban egyre dinamikusabban a kontinens egyik fő szereplőjévé válik. Noha ez a térség a kontinens forgalma egészének mintegy 14%-át teszi ki, a légi közlekedési ágazat rekord növekedése fokozatosan növeli e régió országainak jelentőségét az európai piacon. A jelenlegi előrejelzések szerint a kelet-közép-európai repülőterek elérhetik akár a legmagasabb átlagos utasforgalmat a következő évtizedekben is Európában. A kelet-közép-európai repülőterek 2000 és 2017 között átlagos évi 10,1%-ot meghaladó növekedési rátát értek el, amint azt a 3. ábra is mutatja.



Source: ACI World Airport Traffic Database, 2018

3. ábra

Az utasforgalom fejlődése az egyes európai régiókban (2000-2017). Forrás: ACI: Annual World Airport Traffic Dataset. 2018. felhasználásával Patrick Lucas: Europe's air transport industry – Eastern Europe emerging as major contributor to growth in the last decade. ACI Insights November 1, 2018.

Ez nagyrészt az oroszországi fő kereskedelmi repülőterek gyors növekedésének tulajdonítható, ám más növekvő piacok – például Bulgária, Horvátország, Lengyelország, Románia és Ukrajna – is hozzájárultak e kiemelkedő növekedéshez. Az utasforgalom növekedése 2016 és 2017 között meghaladta a 10%-ot a térség majd minden országában. A térség 2018-ban és 2019-ben is dinamikusán fejlődött és az európai repülés jelentős növekedési központjává vált. Az olcsó légitársaságok egyre növekvő gyakorisága ezeken a piacokon, a javuló gazdasági feltételek mellett az elmúlt években is jelentősen bővítette az európai piacot. A bolgár, horvát, lengyel,

román, ukrán regionális repülőterek nagyon tudatosan igyekeznek bővíteni a repülőtereik elérhetőségét, járatválasztékát. Ennek keretében több repülőtér (például Burgasz, Eszék, Kolozsvár, Split, Zára stb.) is tengerentúli járatok hosszú távú meghonosítására törekszik. A bolgár, horvát, lengyel, román, ukrán közlekedési kormányzatok ebben a törekvésükben maximális segítséget igyekeznek nyújtani ezeknek a repülőtereknek, például a lehetséges fejlesztési források felkutatásában, biztosításában, a repülőterek erőteljes külföldi reklámozásában az ország turisztikai célú marketingje keretében. A bolgár, horvát, lengyel, román, ukrán közigazgatás már korábban felismerte, hogy a regionális repülőterek kulcsszerepet játszanak az idegenforgalom fejlesztésében.⁷

3.2. A koronavírus-járvány miatt jelentősen csökken a légi közlekedés iránti kereslet és a bevételek

A Nemzetközi Légi Szállítási Szövetség (IATA) az új koronavírus-kitörés (Covid-19) hatásának kezdeti értékelése szerint az ázsiai-csendes-óceáni térségben a légi közlekedés iránti utasszükséglet teljes évben mintegy 13%-kal csökkenhet. Tekintettel arra, hogy a régió légitársaságainak előrejelzése szerint 2019-ben 4,8%-os növekedés következett volna be, a nettóhatás évi 8,2%-os visszaesés lesz 2019-ben. Ebben a forgatókönyvben ez az ázsiai-csendes-óceáni térségben működő fuvarozók számára 2020-ban 27,8 milliárd dolláros bevételkiesést jelent – ennek nagy részét Kínában nyilvántartott fuvarozók fogják viselni, ebből 12,8 milliárd dollár veszteség csak a kínai belföldi piacon jelentkezik. Ugyanezen forgatókönyv szerint, az ázsiai-csendes-óceáni térségen kívüli fuvarozók várhatóan 1,5 milliárd dolláros bevételkiesést lesznek kénytelenek elkönyvelni. Feltételezve, hogy a keresletcsökkenés csak a Kínához kapcsolt piacokra fog korlátozódni. Ez összességében az elveszített teljes bevételt 29,3 milliárd dollárra tenné. Ezek a becslések egy olyan forgatókönyvön alapulnak, amely feltételezi, hogy a Covid-19 hasonló V alakú hatást fog gyakorolni a keresletre, mint amit a SARS során lehetett tapasztalni. A Covid-19 kitörésének becsült hatása azt is feltételezi, hogy a közegészségügyi vészhelyzet Kínán nem terjed jelentős mértékben túl. Ha szélesebb körben is kiterjed az ázsiai-csendes-óceáni piacokra, akkor a más régiók légitársaságaira gyakorolt hatás nagyobb lesz. Túl korai megbecsülni, hogy ez a bevételkiesés mit jelent a globális jövedelmezőség szempontjából. Még nem tudjuk pontosan, hogyan fog kialakulni a járvány, és hogy ugyanazt a profilt követi-e, mint a SARS esetében. Az érintett kormányok fiskális és monetáris politikát alkalmaznak a káros gazdasági hatások ellensúlyozására. Néhány enyhítést lehet tapasztalni az egyes légitársaságok alacsonyabb üzemanyagárain, attól függően, hogy korábban miként fedezték az üzemanyagköltségeket. A fő prioritás a vírus terjedésének megállítására. A légitársaságok az Egészségügyi Világszervezet (WHO) és más közegészségügyi hatóságok útmutatásait követik annak érdekében, hogy az utasokat teljes biztonságban tartsák. A kereslet hirtelen visszaesése a Covid-19 következtében jelentős pénzügyi hatással lesz a légitársaságokra, különösen azokra, akik különösen ki vannak téve a kínai piacnak. Az IATA jelenlegi becslései szerint a globális forgalmat 4,7%-kal fogja csökkenteni a vírus miatti kereslet-visszaesés. Ellensúlyozva a korábban előre jelzett növekedést, a kereslet első általános

⁷ Novoszát Péter: A magyar regionális repülőterek fejlődése nemzetközi összehasonlításban. *Repüléstudományi Közlemények*, 32. (2020), 1. 111–124.

visszaesését okozhatja a 2008–2009-es globális pénzügyi válság óta. És ez a forgatókönyv 29,3 milliárd dolláros veszteséget eredményezne az utasok bevételében. A 2020-as év egy nagyon nehéz év lesz a légitársaságok számára.

Az IATA értékelése arra is rámutat, hogy a kormányoknak jelentős szerepet kell játszania a válság kiterjedésének megakadályozásában:

A légitársaságok szabványokat és bevált gyakorlatokat dolgoztak ki a Nemzetközi Egészségügyi Szabályzathoz (IHR) kapcsolódóan, hogy hatékonyan és eredményesen kezeljék a közegészségügyi vészhelyzeteket. A légitársaságok tehát attól függenek, hogy a kormányok követik-e az IHR-t, így hatékony globális megközelítést alkalmaznak-e a járvány visszaszorítására. Tanulva a korábbi járványokból a kormányoknak következetesen követniük kell ezeket az előírásokat.

Az egyes kormányoknak jelentős szerepet kell vállalniuk a légi közlekedés megerősítésében. Például a szingapúri kormány 112 millió SGD-t⁸ különített el, pénzügyi támogatások nyújtása érdekében a légitársaságok és az egész repülési ágazat számára. Mindez lehetővé teszi a meglévő légi összeköttetések fenntartását. A légitársaságoknak és a kormányoknak szorosan együtt kell működniük ebben a helyzetben. Közegészségügyi sürgősségi helyzet van, és mindent meg kell próbálni, hogy ez a helyzet ne vezessen gazdasági válsághoz. A repülőtéri költségek csökkentése létfontosságú, a légi összeköttetések fenntartása érdekében. Mindezt az összes kormánynak figyelembe kell vennie és gyorsan kell cselekednie.⁹

A koronavírus-járvány hatásainak számszerűsítésére tett kísérletek hétről hétre más – egyre pesszimistább – eredményeket hoznak. Pár hét leforgása alatt Közép-Európa minden országában megjelent a vírus. Az eleinte részleges zárásokat gyorsan követte Európa légi közlekedésének gyakorlatilag teljes leállása. Ez kihat Közép-Európa minden főbb partnerével fenntartott kapcsolatára. A légi teherszállítás vonatkozásában is elindult némi visszaesés, ami a termelés visszaesésével függ össze. A gazdasági hatások az amúgy is meglévő válságjelenségek felerősödésével mély és hosszan ható következményekkel is járhatnak.

A légi közlekedés jövője e válságos helyzetben a piaci szereplők döntései mellett nagymértékben függ a kormányok és Európát illetően az Európai Unió szerveinek döntéseitől. Szinte teljes újrakezdésről beszélhetünk, mégis érdemes áttekinteni az utóbbi évtized főbb tendenciáit és a 2020-ra korábban tervezett menetrendet.

4. A közlekedés jelentősége Közép-Európa számára

Közép-Európára, Kelet-Közép-Európára vonatkozóan sokféle földrajzi lehatárolás adható. Egy viszonylag új keletű, közlekedési fókuszú megközelítés a Három Tenger Kezdeményezés országait: Ausztriát, Bulgáriát, Csehországot, Észtországot, Horvátországot, Lengyelországot, Lettországot, Litvániát, Magyarországot, Romániát, Szlovákiát és Szlovéniát sorolja Közép-Európához. Mivel kizárólag EU-tagokról van szó, jól kezelhető elemzési keretet ad. Ausztria némileg kilóg a sorból, de a térség közlekedési kapcsolataiban játszott kulcsszerepe miatt és felzárkózási referenciapontként sem hagyható ki. Az Európai Unió tagállamaira korlátozódó

⁸ Szingapúri dollár.

⁹ IATA: *Covid-19 Cuts Demand and Revenues*. Press Release No: 7. 20 February 2020.

elemzés előnye a jobb összehasonlíthatóság, és az Eurostat által közzétett adatok használatainak lehetősége.

A vizsgált 12 országban él a Brexit utáni 27 tagú Európai Unió lakosságának 25%-a (csökkenő tendencia mellett),¹⁰ itt termelik meg az EU GDP-jének folyó áron több mint 13%-át vásárlóérték-paritáson közel 20%-át.¹¹ Az Európai Unión belüli (INTRA-EU27) kereskedelem közel 24%-ában (euróban kifejezve) érintett a Három Tenger Térség, az EXTRA-EU külkereskedelemnek több mint 13%-a (a GDP-hez hasonló arány) irányul ide, vagy származik innen. Az EXTRA-EU külkereskedelem esetében valamelyest nagyobb: 16%-os részarányt kapunk, ha a tonnában kifejezett árutömegben belüli arányokat nézzük.¹² Ami az érkező turisták számát illeti, Európán belülről és kívülről is 17% e térség részaránya, az utóbbi kategóriában (Európán kívüli turisták) különösen dinamikus növekedés mellett. Az EU-ból kifelé irányuló utazások töredékes adatai alapján valószínűsíthető, hogy az Európán kívülre irányuló idegenforgalomban a Három Tenger Térségének országai 10% alatti arányt képviselnek.¹³

Több mint egy évtizede látható az új tagállamokból megindult munkaerő-mobilitással összefüggő jelentős közlekedési igény.¹⁴ A növekvő légi utasforgalom jelentős részben ezzel függ össze.¹⁵ Az utóbbi évtizedben a főbb repülőterek forgalma megélnéknült a térségben, és néhány regionális reptér esetében is hasonló tendenciát tapasztalunk. Az Európai Unió és azon belül a szűkebb térség is egyre több légi úton, más földrészről érkező turistát fogad. 2009 és 2019 között megduplázódott az Európán kívülről a mai 27 tagú Európai Unió országaiba érkező turisták száma évi 45 millióról 93 millióra nőtt. Ezen belül a Három Tenger térségbe érkezők száma megháromszorozódott, elérve a 16 milliót. Ezek az adatok a nemzeti statisztikák adatain alapulnak, vagyis a több országot felkeresők többszörösen szerepelnek. A kiutazók számára vonatkozó hiányos statisztikákból az látszik, hogy míg EU27 körből 2013 és 2018 között másfélszeresére, 45 millióra nőtt a földrészt elhagyó turisták száma, a HTK régióból csak 3 millióról 4 millióra nőtt a tengerentúltra utazók száma.

5. Tengerentúli forgalmú közép-európai repülőterek

Az Eurostat a térség 60 repülőterére vonatkozóan tesz közzé Európán kívülről érkező légi-utas-statisztikát.¹⁶ Ezek adatait megismerve képet alkothatunk a tendenciákról, a regionális repterek szerepéről. Az itt ismertetett adatok szempontjából Oroszország és Törökország Európának számít. Az ilyen értelemben vett Európán kívüli országokat kell „tengerentúli-ként” érteni. Az utasforgalmi adatok minden esetben érkezési adatok. A 60 repülőtér közül öt román (Karánsebes, Konstanca, Nagybánya, Szatmárnémeti és Tulcea) esetében egyetlen utas sem érkezett a 2010-es években Európán kívülről, három esetben csak 2019-ben indultak (Arad, Nagyvárad, Suceava – charterjáratok a mediterrán térségbe). 28 olyan reptér van,

¹⁰ Eurostat: *Population (Demography, Migration and Projections)*.

¹¹ Eurostat: *Annual National Accounts*.

¹² Eurostat: *International trade in goods*.

¹³ Eurostat: *Tourism*.

¹⁴ Frédéric Dobruszkes: New Europe, new low-cost air services. *Journal of Transport Geography*, 17. (2009), 6. 423–432.

¹⁵ Aisling Reynolds-Feighan: Air transport accessibility changes in depopulating European states. *Advances in Transport Policy and Planning*, 2. (2018), 15–55.

¹⁶ Eurostat: *Transport*.

amelyik 2010 és 2019 között minden évben fogadott Európán kívüli járatot. Közéjük tartozik a 12 fővárosi reptér.

A térségbe Európán kívülről érkező légi utasok száma 2010 és 2015 között 4 millió körül ingadozott, majd 2019-re gyors növekedéssel 11,5 millióra nőtt. A fővárosi repülőterek esetében 2012 óta folyamatos volt a növekedés, 2017-től már évi 1 millió fölött bővült a tengerentúli utasérkezések száma. A nem fővárosi repterek esetében a 2016 és 2019 közötti gyors növekedést megelőzően nem olvasható ki egyértelmű tendencia, 2018-ban fogadtak először összesen 1 milliót meghaladó utast Európán kívülről.

A térségben három repülőtér fogad évi legalább 1 millió tengerentúli utast: Bécs, Varsó és Prága. E három reptér bonyolítja a 12 országot felölelő térség tengerentúli repülőforgalmának kétharmadát. Bécs hirtelen növekedéssel érte el a 2019-es 4,8 milliós tengerentúli utasszámot. Varsó 2013-ban előzte meg Prágát. Két repülőtér van még, amely legalább félmillió utast fogad a tengerentúlról: Budapest és Bukarest. A hatodik helyezett nem fővárosi légikikötő: Katowice. Kétszázezer felett érkeztek az utóbbi két évben Szófiába és Zágrábba is. Vilnius és a 2018-ig előtte járó Riga is bekerült a tíz legnagyobb tengerentúli forgalmú repülőtér közé 2019-ben, a pozsonyi reptérnek a 12., a tallinnai és ljubljainak csak a 18., illetve 24. hely jutott.

A „vidéki” lengyel repülőterek közt Katowice mellett kiemelés érdemel Krakkó és Poznań, ahol a 2016-os hétezeres tengerentúli érkezés 2019-re 158, illetve 70 ezerre emelkedett. Ezeket országukon belül Wrocław és Gdańsk követi. Bulgáriában a két tengerparti reptér (Burgasz és Várna) 2016-ig együtt több tengerentúli utast fogadott, mint a főváros. Csehországban Brnóban és Ostravában, Szlovákiában pedig Kassán 2016 után megindult némi tengerentúli forgalomnövekedés, de 2019-re megtört a lendület. Romániában a regionális repterek közül Iași, Temesvár és Nagyszében tengerentúli próbálkozásai viszonylag újak, minden tekintetben messze vannak Bukaresttől. Ausztriában Salzburg, Linz és Graz 2019-ben lendületet vett. Horvátországban Dubrovnik említhető meg, Litvániában Kaunas.

6. A Közép-Európába irányuló idegenforgalom

Amint láttuk, a térséget felkereső tengerentúli turisták számának csak a felét, az összes ki- és beutazónak bő harmadát adja ki a térség repülőtereire tengerentúlról (európai átszállás nélkül) érkező (és visszaérkező) turisták száma. Elvileg tehát nem irreális célkitűzés a Három Tenger Térsége tengerentúli légi forgalma két-háromszorosának elérése a jelenlegi válságot követő pár éven belül. A fejlesztésre érdemes desztinációk beazonosítása érdekében vegyük sorra, mekkora forgalmat bonyolít a térség az egyes földrészekkel.

Ázsia az összes beutazónak és a térségbe közvetlenül utazóknak is több mint felét adja. A Közép-Európából Európán kívülre utazók több mint harmadának úti célja ez a földrész. Ezen belül a légi kapcsolatok terén a Közel-Kelet adja a legnagyobb szeletet. Az ázsiai légiutas-érkezések 2019-ben 7,4 millió főt tettek ki (az összes tengerentúli érkezés kétharmadát), ebből 4,9 millió volt a Közel-Keletről (vissza)érkező utas. Közép-Európa és az Arab-félsziget közt egyre inkább ritkaságszámba megy az átszállás. A térségbe érkező kínai, dél-koreai és japán turisták száma 2019-ben együttesen közel 5 millió volt, a tíz évvel korábbi négyszerese, felük kínai. A kiutazókra vonatkozó rendkívül hézagos adatok nagyságrendi elmaradást mutatnak. A távol-keleti relációban kétharmados volt az európai vagy ázsiai átszállással érkezők aránya.

További jelentős desztináció az Egyesült Államok. 2019-ben 1,7 millió utas már átszállás nélkül érkezett Közép-Európába. Az átszállókkal együtt az összes USA-ból jövő turista száma ekkor már gyors növekedéssel 4,8 millió volt, a kiutazóké valamelyest alacsonyabb dinamikával 1 millió felett. Az USA-ból érkezők száma 2018-ban haladta meg a 3 milliót, ami a 2010-es adat duplája. Összességében Közép-Európa és Észak-Amerika közt szinte háromnegyedes arányt képviselnek még a nyugat-európai átszállók. A térségbe érkező tengerentúli turistáknak mindössze 1,5%-a jön Afrikából, a térségből Európán kívülre utazóknak viszont szinte harmadának ez a földrész az úti célja. Jellemzően közvetlen (főként charter-) járatokkal.

A 2019-ben a Három Tenger térségbe érkező 16 millió turistából 4,5 millió jutott Ausztriára, 3 millió Csehországra és közel ennyi Horvátországra. Az 1,5, illetve 1,3 millió tengerentúlit fogadó Magyarországot és Lengyelországot Szlovénia és Románia követte. Bulgária félmillió tengerentúli turistát fogadott. A kiutazókat illetően Ausztria és Lengyelország állt az élen 1-1 millió fővel, Csehország járt a nyomukban.

A közvetlenül tengeren túlról érkező légi utasok 2,1 milliós számával Lengyelország 2018-ban beérte Ausztriát, de az osztrák desztináció népszerűsége 2019-ben ugrásszerűen megnőtt: 4,9 millió tengerentúli érkezést regisztráltak.

A tengerentúlról nem üzleti vagy rokonlátogatási céllal Közép-Európába érkezők körében jellemző célkitűzés, hogy több országot is felkeressenek. A felfedezési vágy és a társadalmi presztízs (büszkélkedés a közösségi médiában azzal, hány országban járt az illető szűken mért szabadsága alatt) is motiválhatja ezt a tendenciát. Jelen sorok íróinak egyike nemrégiben egy vízumközpontot vezetett Kínában, amely több európai ország képviselőjét is ellátta. Az igénylők többsége több európai országot is megjelölt úti célként, nem ritkán 3-4-et. Ennek a jelenségnek a tudományos feldolgozása még várta magára, de desztinációfejlesztés szempontjából döntő körülmény.

7. Közép-európai repterek, légitársaságok, desztinációk

Az utasszámok mellett a járatszámok is fontos információt hordoznak. 2020. március 20-i keresésünk¹⁷ során a reptéri információk alapján 407 olyan járatot sikerült összeszámolni, amelyek 2020-ban Három Tenger térségének repülőterei és Európán (és Törökországon, Oroszországon) kívüli desztinációk között létesítettek (volna) kapcsolatot. A keresés időpontjában a járatok többsége nem üzemelt. Minden olyan járatot számba vettünk, amelyeket 2020-ban hosszabb-rövidebb ideig üzemeltetni terveztek. Néhány tervezetten megszűnő járatot is, minden tervezett, de meg nem valósult bővítést. Az alábbi elemzés erre az elméleti járáshálóra vonatkozik, amely a 2020-as évek első felében helyreálló légi közlekedés irányainak alapja lehet.

A járatok száma alapján a repülőterek sorrendje eltér az érkezések száma alapján számítottól. Varsó e téren Bécs előtt jár. Prágát nemcsak Budapest, hanem Katowice is megelőzi. Az öt legnagyobb forgalmú repterre 220 járat szállít utasokat más kontinensekről. Az utasok tekintetében 9., illetve 10. Vilnius és Riga a járatok száma alapján 7. és 8. A 9. helyen 11 járatral pedig az utasszám tekintetében a 2018-ban még csak 19. Kolozsvár áll, megelőzve a két és félszer annyi utast fogadó Krakkót. A listát záró tíz repülőterről (Arad, Fiume, Iasi, Kaunas,

¹⁷ A szerzők gyűjtése a vizsgált repülőterek honlapjai és a Wikipédia oldalairól.

Lublin, Marosvásárhely, Rzeszów, Szatmárnémeti, Várna, Zára) csak egyetlen tengerentúli járat szerepel a menetrendben.

A vizsgált 40 repülőtérre 71 légitársaság létesített járatokat más kontinensekről. Nyolc társaság adja a járatok felét. A legtöbb (41) tengerentúli járatot a cseh Smartwings üzemelteti, szoroson követi a lengyel Enter Air 39 tengerentúli járattal. A dobogón van még a LOT is. Az Austrian Airlinest megelőzi a Wizz Air és a Ryanair. 22 légitársaságnak csak egyetlen egy tengerentúli járata van a térségből.

A 88 desztináció közül kiemelkedik Tel Aviv és Gurdaka (Hurghada 62, illetve 57 járattal). A repterek versenyében nagy lemaradással Sarm es-Sejk és Marsza Alam következik (19-19 járat). A városok közt Dubaj lenne a harmadik: két reptere 12 (Al Maktoum), illetve nyolc (International) járatban érintett, a szomszédos Sardzsába is repül két járat. 36 tengerentúli desztinációt csak egyetlen járat köti a Három Tenger térségéhez. A 88 desztináció pontosan fele ázsiai, 26 afrikai, 18 amerikai. A 407 járatból 185 köti össze Közép-Európát Ázsiával, 176 Afrikával, 46 pedig Amerikával. A Tel Aviv-i 62 járatból 15 Wizz Air-járat – ez a tengerentúli Wizz Air-járatok több mint fele. A gurdakai desztinációban nincs hasonlóan kiemelkedő légitársaság, az Air Cairo és a Smartwings is hét járatot üzemeltet ide Közép-Európából. Országokénti bontásban (4. táblázat) még jobban kiemelkedik néhány desztináció, ami kiegészítő keretet ad elemzésünknek.

4. táblázat

A legtöbb közép-európai járatban érintett Európán kívüli országok. Forrás: a szerzők gyűjtése

Sorrend	Ország	Járat
1.	Egyiptom	100
2.	Izrael	75
3.	Tunézia	38
4.	Egyesült Arab Emírségek	30
5.	USA	25
6.	Kína	16
7.	Marokkó	12
8.	Jordánia	11
9.	Kanada	11
10.	Katar	8

5. táblázat

A legtöbb Közép-Európából induló desztinációban érintett Európán kívüli országok. Forrás: a szerzők gyűjtése

Sorrend	Ország	Desztináció
1.	Kína	10
2.	USA	9
3.	Egyiptom	6
4.	Egyesült Arab Emírségek	5
5.	Tunézia	4
6.	Marokkó	4
7.	Thaiföld	3
8.	Kuba	3

Az egyiptomi, izraeli és tunéziai járatok adják a vizsgált kategória felét. Döntően Közép-Európából a mediterrán térségbe irányuló turistaforgalomról van szó. Izrael esetében az idegenforgalom már kevésbé egyirányú, számottevő hivatásforgalom és rokonlátogatás is jelentkezik. Csak egy példa: Romániába több turista érkezik Izraelből, mint az USA-ból és Kínából együttvéve. Egyiptomhoz és Tunéziához hasonló desztináció a középmezőnyben Marokkó és Jordánia. A nagyarányú „nyaralóforgalomban” a desztinációk, légitársaságok és a közép-európai repterek is nagy számban vesznek részt, fejlődésük alapvetően piaci keretek mentén paraméterezhető.

A közel-keleti térségben külön említendők az Egyesült Arab Emírségek repterei és Katar a dohai repülőtérrel. Itt jelentős a tranzitforgalom is Ázsia és Óceánia felé. A Prága–Dubai-International relációban három járat (Emirates, flydubai és Smartwings) verseng. Az Emirates öt fővárost: Bécs, Budapest, Prágát, Varsót és (szezonalisan) Zágrábot köti Dubajon keresztül a keleti világhoz. A flydubai fővárosok (Bukarest, Pozsony, Prága, Szófia) mellett két regionális reptérnek (Dubrovnik és Krakkó) is biztosít dubaji összeköttetést. A nagyobb dubaji repülőtérre irányuló forgalmat az Al-Maktoumra közlekedő AirBucharest (Bukarest), GetJet (Vilnius), SMartLynx (Tallinn) és Wizz Air (Budapest, Bukarest, Katowice, Kolozsvár, Szófia), valamint a Sardzsába közlekedő Air Arabia (Bécs és Prága) egészítik ki. Doha esetében mind a nyolc járatot a Qatar Airways üzemelteti, hét fővárosi (Bécs, Budapest, Bukarest, Prága, Szófia, Varsó és Zágráb) járat mellett egy szezonális dubrovnikai indul. Ezen öböl menti reptereken túl más Európán kívüli nagy forgalmú, harmadik országba irányuló átszállóhelyeknek nincs közvetlen kapcsolata Közép-Európával. Kerülhet ilyen szerepbe Közép-Ázsia néhány reptere. Egyelőre Rigából van járat Taskentbe (Uzbekistan Airways) és Almatiba (airBaltic), Budapestről (Wizz Air), Prágából (SCAT) és Varsóból (LOT) pedig Nur-Szultanba.

Gyorsan fejlődő desztinációkat találunk az USA-ban. 2020-ra már 25 járatot tervezett öt légitársaság kilenc amerikai (Boston, Chicago-O'Hare, Los Angeles, Miami, JFK, Newark, Philadelphia, San Francisco és Washington-Dulles) és hét közép-európai repülőtér között. A kilenc desztináció közt Chicago (hat járat), New York (öt járat) és Newark áll az élen. Az öt társaság közt a LOT jár az élen 11 járattal, az Austrian és az American hat-hat járattal követi, a Delta és a United csak egy-egy relációban (Prága–JFK, illetve Prága–Newark) repül. A hét közép-európai reptér között négy fővárosi (Bécs, Budapest, Prága, Varsó) és három vidéki reptér (Dubrovnik, Krakkó és Rzeszów) van. A hét varsói járat mindegyikét és az egyetlen rzeszówi (Newark) járatot a LOT üzemelteti. Bécsből repül mind a hat Austrian Airlines járat. Dubrovnikba egyedül az American repül (Philadelphiából). Prágában a három amerikai társaság osztozik a négy járaton. Budapestről két American és egy LOT, Krakkóból két LOT és egy American járat közlekedik az USA-ba. Az egyetlen járat, amely két társaság kínálatában is szerepel a Krakkó–Chicago. Itt érdemes megemlíteni az USA északi határánál fekvő kanadai repülőterek közép-európai összeköttetéseit is. A nyolc torontói légi járat közül hatot az Air Canada (a bécsi kivételével Air Canada Rouge) üzemeltet, Varsóból a LOT, Zágrábra az Air Transat repül. Monreálba Bécsből (Austrian), Bukarestből (Air Canada Rouge) és Prágából (Air Transat) lehet átszállás nélkül eljutni. Regionális repterekről nem indul Kanadába járat, Budapest kivételével mindenhol (Bécsből, Bukarestből, Prágából, Varsóból, Zágrábból) kettő.

A Közép-Európából Európán kívül repült desztinációk (5. táblázat) közül Kínára jut a legtöbb. Kilenc kínai város (Csengtu, Csungking, Hszian, Kanton, Peking, Sanghaj, Sencsen, Szanja, Ürümcsi) tíz repülőtérének van közvetlen összeköttetése Közép-Európa négy legnagyobb forgalmú reptérével (Bécs, Budapest, Prága, Varsó), nyolc légitársaságnak köszönhetően. Prága

egyetlen kínai kapcsolatát a Sichuan csengdui járatának köszönheti, Varsónak csak Pekinggel van közvetlen légi összeköttetése (két LOT a két pekingi reptérre és egy Air China). Budapestről hét, Bécsből hat járat repül Kínába. A légitárságok közül az Air China és a Shanghai Airlines üzemeltet három-három járatot. Az előbbi járatai Pekinget kötik össze Béccsel, Budapesttel és Varsóval, az utóbbi járatai Budapestről ágaznak szét Csengtu, Hszian és Sencsen irányába. A Pekinget és Sanghajt repülő Austrian mellett a China Southern is bécsi desztinációt választott (Kantonból és Ürümsziből). A Hainan két járatának (Bécs–Sencsen, Budapest–Csungking) nincs közös pontja. Charterjáratokkal (Budapest–Szanja) a Sunday kísérletezik. Pekingbe (Capital és Daxing) összesen hat, Sanghajba és Csengtuba két-két járat van, a többi desztinációt csak egy-egy járat kapcsolja Közép-Európához. Ázsia keleti felében megemlíthető még a hét szülői járat, a három thai desztinációba közlekedő hat és a két japán desztinációba repülő három járat. Feltűnő az átszállási lehetőségek szempontjából kiemelkedő Hongkong és Kuala Lumpur közép-európai összeköttetésének hiánya, és hogy olyan csomópontba, mint Szingapúr, csak Varsóból lehet eljutni.

A rendszeres tengerentúli teherszállításban kevesebb szereplőt találunk részben eltérő desztinációkkal. E téren Budapest jár az élen öt járattal. A magyar fővárosból a Cargolux (Almati, Hongkong, Tajpej), a Korean Air Cargo (Szöul) és Qatar Airways Cargo (Doha) szállít. Mind a négy varsói teherjáratot a UPS üzemelteti: Almatiba, Csengtuba, Hongkongba és Sanghajba. A Bécs–Szöul relációban az Asiana Cargo és Korean Air Cargo repül. Az utóbbi társaság Bécs és Delhi között is szállít. Prágából és Zágrábból csak a Qatar Airways Cargo jár (Dohába).

8. Regionális repülőterek lehetőségei Közép-Európában

Az imént bemutatott desztinációknak 40 közép-európai repülőtérről van átszállás nélküli összeköttetése, ezek közül 27 nem fővárosi reptér. Közülük kilenc van Romániában, hat Lengyelországban, három-három Ausztriában, illetve Horvátországban, kettő-kettő Bulgáriában, illetve Csehországban, egy-egy Litvániában és Magyarországon. Néhány további térségbeli repülőtérről van ugyan nemzetközi fogalma, de az nem lép ki a földrajzi Európa országain kívülre. Napirenden vannak regionális reptérfejlesztések is, amelyek megvalósulása évtizedes távlatban új szereplőket is behozhat. A 2020-as évek térségbeli legnagyobb beruházása az új varsói reptér és hozzá kapcsolódó nagy sebességű vasút fejlesztése, amely jelentősen befolyásolhatja a regionális szereplők jövőjét. Az egy lakosra vagy területegységre vetített tengerentúli forgalmat bonyolító repülőterek számát illetően jelentős lemaradásban van a többiekhez képest Magyarország és Szlovákia.

Az imént részletesen vizsgált 407 járatból 126 jut a nem fővárosi repülőterekre. Ezeknek közel fele, 60 Lengyelország vidéki városait köti össze Európán kívüli desztinációkkal. A romániai vidéki városok 28 tengerentúli járata figyelemre méltó már csak a bukaresti 21-gyel összevetve is. A 12 vizsgált ország vidéki városból Európán kívül közlekedő járatainak 95%-át öt ország (Ausztria, Csehország, Horvátország, Lengyelország, Románia) repterei adják. A Közép-Európa és tengerentúl közötti légi forgalmat bonyolító 71 társaság közül 28 van jelen a regionális reptereken. A 126 járatból 29-et az Enter Air üzemeltet, 14-et a Smartwings, 10-et a Wizz Air. A desztinációk sorát Gurdaka (Hurghada, 31 járat), Tel Aviv (24) és Marsza Alam (11) vezeti.

Ahogy láttuk, Közép-Európa és az Európán kívüli világ közt elsősorban a mediterrán térségbe irányuló üdülési célú forgalmat bonyolító járatok, az erre specializálódott társaságok

adják. Ezek piacát a teljes kiutaztatási idegenforgalmi piac részeként lehet elemezni. A regionális repterek széles köre be tudott ebbe csatlakozni, a piac a többiek előtt is nyitott. Tel Aviv ugyan átmeneti kategóriába sorolható a hivatásforgalom felé, de a regionális repterek esetében a kiutazó és beutazó turisták adják a többséget. Ebbe a városba a 27 vizsgált regionális reptér közül 16 üzemeltet járatot, Krakkóból 4, Katowicéből 3, Burgaszból, Dubrovnikból és Kolozsvárról kettő-kettő.

A LOT a térségben a legnagyobb hagyományos légitársaság, ők üzemeltetik a legtöbb olyan járatot, amely nem a globális léptékkal „közel-külföldi” nyaralóhelyeket célozza. Bár a LOT indít tengerentúli járatot Lengyelországon kívülről is (Budapestről), regionális repülőtérrel csak országon belül – Krakkóból (Chicagóba, New Yorkba, Tel Avivba), Lublinból (Tel Avivba), Rzeszówból (Newarkba) és Wrocławból (Tel Avivba). Az Austrian Airlines és a Czech Airlines csak Bécsből, illetve Prágából repül, külföldi tulajdonosok (Lufthansa, Korean) is korlátozzák hálózatépítésüket. A Bulgaria Air és a TAROM is Szófiából, Bukarestből indítja két-két közel-keleti járatát. A Croatia Airlinesnak Zágrábból és Dubrovnikból is van egy-egy Tel Aviv-i járata.

Az American Dubrovnik és Krakkó számára biztosít tengerentúli kapcsolatot (Chicagóval, illetve Philadelphiával), a flydubai is ebből a két vidéki városból repül haza bázisára. A Wizz Air a regionális repterek közül Katowicét és Kolozsvárt köti össze Dubajjal (Al-Maktoum). A Qatar Dubrovnikot kapcsolja be Dohán keresztül az ázsiai forgalomba. Mint láttuk, Kínába csak fővárosokból lehet repülni. Ez igaz minden Arab-félszigeten túli ázsiai desztinációra.

A fentiekből látszik:

- A közeli, de melegebb tájakra irányuló forgalomban a közép-európai reptereknek már most is nagy a szerepe, a kapcsoló turisztikai kínálat és kereslet növekedésével bővíthető a járatok száma a regionális repterek fokozottabb igénybevételével.
- A térségbeli hagyományos légitársaságok közül egyedül a LOT-nak van Közép-Európa tengerentúli térségekbe történő bekapcsolására stratégiája. Az regionális reptereket is érint, de csak Lengyelországban.
- A térségen kívüli társaságok egyelőre a saját turisztikai kínálatuk alapján Krakkót és Dubrovnikot tudták beazonosítani önálló, nem fővárosi célpontként.
- Az Arab-félszigetet leszámítva ázsiai társaságok egyelőre nem számolnak közép-európai regionális repterekkel.
- A menetrend szerinti interkontinentális áruszállításba ezek a repterek nem kapcsolódtak be.

9. Következtetések

Megfelelő előkészítés és átszállási kapcsolatok esetén kiemelkedő bevétellel kecsegtet a főbb észak-amerikai, a dohai, dubaji, valamint a hongkongi és szingapúri járatok üzemeltetése. Közép-Európa közvetlen kapcsolatai ezekkel a desztinációkkal erősödnek, de Szingapúrba egyelőre csak egy (varsói LOT) járat közlekedik, Hongkonggal pedig nincs közvetlen kapcsolat.

Jelentős átrendeződésnek vagyunk tanúi a legnagyobb forgalmú repülőterek között, amelynek része kínai és más ázsiai repterek gyors növekedése. Közép-Európa egyre több kapcsolatot létesít kínai városokkal.

Közép- és Kelet-Európa légi forgalma dinamikusan növekedett a 2010-es években, ebbe fokozatosan kapcsolódnak bele regionális repülőterek is. A regionális reptereket érintő járatindításokat a helyi kormányzati szereplők is támogatják.

A koronavírus-járvány gyakorlatilag teljesen leállította a légi közlekedést. Azok a társaságok, amelyek képesek túlélni több hónapot bevétel nélkül, újraindíthatják járataikat. A válság jelentős átrendeződést hozhat a légi közlekedésben.

Közép-Európa tengerentúli idegenforgalma (ki- és beutazások) gyorsabban bővül, mint a légi forgalom ugyanezekben a relációkban. A ki- és beutazók többsége jelenleg a térségen kívül, Európában átszállva utazik. A közép-európai fővárosok tengerentúli összeköttetései gyorsan bővülnek. A regionális repterek esetében jelentős egyenetlenségek és lemaradás jellemző. A teherszállításban még nagyobb a lemaradás, öt fővárosi repülőteret leszámítva csak eseti jelleggel van Európán belüli átrakodás nélküli tengerentúli szállítás.

Az Európán kívüli térségbe irányuló közép-európai légi személyszállítás döntő többsége az észak-afrikai és közel-keleti üdülőhelyekre irányul, nagy számú piaci szereplővel, a regionális repterek növekvő bevonásával. Ez a folyamat tisztán üzleti alapon fenntartható.

Észak-Amerikával egyre több közvetlen kapcsolat létesül. A ki- és beutazók szempontjai egyaránt befolyásolják a fejlődést. Megindult a regionális repterek bekapcsolódása is, de ehhez a leginkább érintett közép-európai városok (Krakkó és Dubrovnik) erős turisztikai kínálata is kellett.

Ázsián belül Kína vált a fő légi közlekedési partnerré. A növekvő számú járatok Kína minden táját érintik, de Közép-Európában csak néhány fővárost. A teherszállításban is kiemelt desztináció Kína. Ázsia felé hidat képez Doha és Dubaj, néhány közép-európai regionális repteret is bevonva. Az átszállás, illetve átrakodás lehetőségét kínálva megjelentek a színen közép-ázsiai repterek is.

A közép-európai társaságok közül egyedül a LOT képes regionális reptereket is bevonva a mediterrán térségnél és az Arab-félszigetnél messzebbre repülő tengerentúli járatokat indítani. Közép-Európa jobb lefedéséhez további társaságnak kellene megjelenni hasonló ambíciókkal. Az amerikai és főleg a kínai légitársaságok itteni fejlődése erősen függ a turisztikai kínálattól. Különösen a kínai turistákra jellemző, hogy utazásuk során több országot is felkeresnek. Útitervük összeállításánál döntő tényező, hogy az adott desztinációból mely továbbiakba lehet gyorsan eljutni.

Ákár új regionális repülőterek is bekapcsolódhatnak a transzatlanti forgalomba. A Hévíz-Balaton Airport példáján bemutatva: a meglévő balatoni és gyógyfürdői kínálat fejlesztése mellé szükség van gyors autóbuzos bécsi és budapesti kapcsolatra, minimum prágai és krakkói (de akár dubrovnik, kolozsvári, észak-olaszországi, salzburgi, mostari stb.) légi átszállási lehetőségeire.

A regionális repterek tengerentúli kapcsolataira kimutatható érdemi kereslet, azonban Lengyelország kivételével a tőkeerős, hagyományos üzleti modellt követő társaság és a közép-európai térségen belüli gyors közlekedési kapcsolatok hiányában a kínálatnak komoly korlátai vannak. Ezek leküzdése túlmutat a regionális repterek üzemeltetőinek hatáskörén.

Felhasznált irodalom

- Dobruszkes, Frédéric: New Europe, new low-cost air services. *Journal of Transport Geography*, 17. (2009), 6. 423–432. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2009.05.005>
- Grant, John: *Billion Dollar Route – Jewels in the Network*. OAG, 2019. Online: www.oag.com/blog/billion-dollar-route-jewels-in-the-network
- IATA: *Covid-19 Cuts Demand and Revenues*. Press Release No: 7. 20 February 2020. Online: www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-02-20-01/
- LePan, Nicholas: *Flying High: The Top Ten Airline Routes by Revenue*. Visual Capitalist, 2020. Online: www.visualcapitalist.com/top-airline-routes-by-revenue/
- Lucas, Patrick: *Europe's air transport industry – Eastern Europe emerging as major contributor to growth in the last decade*. ACI Insights, 2018. Online: <https://blog.aci.aero/europe-air-transport-industry-eastern-europe-emerging-as-major-contributor-to-growth-in-the-last-decade/>
- Lucas, Patrick: *The eastward shift and the world's fastest-growing airports*. ACI Insights, 2019. Online: <https://blog.aci.aero/the-eastward-shift-and-the-worlds-fastest-growing-airports/>
- Novoszátth Péter: A magyar regionális repülőterek fejlődése nemzetközi összehasonlításban. *Repüléstudományi Közlemények*, 32. (2020), 1. 111–124. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2020.1.8>
- OAG Aviation Worldwide: *The world's leading provider of travel data and insight*. 2020. Online: www.oag.com/
- Reynolds-Feighan, Aisling: Air transport accesibility changes in depopulating European states. *Advances in Transport Policy and Planning*, 2. (2018), 15–55. Online: <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2018.09.002>

Internetes források

- ACI: *ACI Annual World Airport Traffic Dataset*. 2019. Online: <https://store.aci.aero/product/annual-world-airport-traffic-dataset-2019/>
- Arad International Airport. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Arad_International_Airport
- Bratislava Airport. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Bratislava_Airport
- Brno-Tuřany Airport. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Brno%E2%80%93Tuřany_Airport
- Budapest Liszt Ferenc nemzetközi repülőtér. Wikipédia, a szabad enciklopédia, é. n. Online: https://hu.wikipedia.org/wiki/Budapest_Liszt_Ferenc_nemzetk%C3%B6zi_rep%C3%Bcl%C5%91t%C3%A9r
- Burgas Airport. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Burgas_Airport
- Cluj International Airport. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Cluj_International_Airport
- Copernicus Airport Wrocław. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Copernicus_Airport_Wroc%C5%82aw

- Debreceni nemzetközi repülőtér.* Wikipédia, a szabad enciklopédia, é. n. Online: https://hu.wikipedia.org/wiki/Debreceni_nemzetk%C3%B6zi_rep%C3%BCl%C5%91t%C3%A9r
- Dubrovnik Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Dubrovnik_Airport
- Eurostat: *Population (Demography, Migration and Projections).* Online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/population-demography-migration-projections/data/main-tables>
- Eurostat: *Annual National Accounts.* Online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/national-accounts/data/database>
- Eurostat: *International trade in goods.* Online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/international-trade-in-goods/data/database>
- Eurostat: *Tourism.* Online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/tourism/data/database>
- Eurostat: *Transport.* Online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/data/database>
- Graz Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Graz_Airport
- Henri Coandă International Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Henri_Coand%C4%83_International_Airport
- Iași International Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Ia%C8%99i_International_Airport
- Katowice Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Katowice_Airport
- Kaunas Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Kaunas_Airport
- Kraków John Paul II International Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Krak%C3%B3w_John_Paul_II_International_Airport
- Leoš Janáček Airport Ostrava.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Leo%C5%A1_Jan%C3%A1%C4%8Dek_Airport_Ostrava
- Linz Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Linz_Airport
- Ljubljana Jože Pučnik Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Ljubljana_Jo%C5%BEE_Pu%C4%8Dnik_Airport
- Lublin Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Lublin_Airport
- Oradea International Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Oradea_International_Airport
- Poznań-Ławica Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Pozna%C5%84%E2%80%93%C5%81awica_Airport
- Riga International Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Riga_International_Airport
- Rijeka Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Rijeka_Airport
- Rzeszów Jasionka Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Rzesz%C3%B3w%E2%80%93Jasionka_Airport
- Salzburg Airport.* Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Salzburg_Airport

- Satu Mare International Airport*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Satu_Mare_International_Airport
- Sibiu International Airport*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Sibiu_International_Airport
- Sofia Airport*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Sofia_Airport
- Suceava International Airport*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Suceava_International_Airport
- Tallinn Airport*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Tallinn_Airport
- Târgu Mureş International Airport*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/T%C3%A2rgu_Mure%C8%99_International_Airport
- Timișoara Traian Vuia International Airport*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Timi%C8%99oara_Traian_Vuia_International_Airport
- Václav Havel Airport Prague*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1clav_Havel_Airport_Prague
- Varna Airport*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Varna_Airport
- Vienna International Airport*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Vienna_International_Airport
- Vilnius Airport*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Vilnius_Airport
- Warsaw Chopin Airport*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Warsaw_Chopin_Airport
- Warsaw Modlin Airport*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Warsaw_Modlin_Airport
- Zadar Airport*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Zadar_Airport
- Zagreb Airport*. Wikipedia, The Free Encyclopedia, é. n. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Zagreb_Airport

Füleky András¹

Gondolatok a repülőgép-vezetőket érő pszichés terhelések háttéréről

A cikk bemutatja, gyakorlati példákon keresztül rendszerezi és elemzi a repülőgép-vezetőket érő pszichés terhelések fajtáit, a döntések pszichológiai alapjait mindazon sajátos körülményt figyelembe véve, amivel egy légi jármű-vezető találkozhat. Az írás kitér a haditechnika és annak üzemeltetési környezetének fejlődésével járó, az emberi szervezet működési folyamataira gyakorolt pszichológiai és fiziológiai hatásokra is.

Kulcsszavak: repülőgép-vezető, személyiség, terhelés, környezet, katonai repülés

Thoughts on the Background of Pilots' Psychic Load

In the article, the author systematises and analyses the types of pilots' psychic load, the psychological principles of decision making, considering the special environment of state aviation. This article introduces psychological and physiological influences on persons which accompany an organisation or military technology development.

Keywords: pilot, personality, psychic load, environment, military aviation

1. Bevezetés

Egyes munkakörök sajátos jellegéből adódóan a meghozott döntések kimenetele alapvető jelentőségű lehet, ezért egy-egy ilyen döntéshozatal nagy szakmai felkészültséget és megfelelő képességekkel felruházott személyiséget feltételez, aki képes a tevékenységgel járó stressz hosszú távú elviselése mellett a nagy pontosságú feladat-végrehajtásra is.

Jelen írás a repülési feladatokat végző szakemberekről szól. A repüléssel összefüggő döntések pszichikai háttér-folyamatait kutatva alapvetésként még ma is kijelenthető, hogy a repülés rendszerét emberek tartják mozgásban. A repülőgép tervezésétől a repülés végrehajtásáig, a repülés egyetlen területe sem nélkülözheti az emberi megfontolást és tevékenységet.

¹ Doktoranduszhallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Hadtudományi Doktori Iskola, e-mail: fuleky.andras@hm.gov.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7735-2173>

Az emberi tényező² át- és átszövi a repülés egészét, éppen ezért kap kiemelt szerepet a repüléssel foglalkozó kutatásokban. Ezen tényezők egyik csoportja a szubjektív emberi tényezőket foglalja magában, amely repülésbiztonság szempontjából alapvetően meghatározó elem, és amely a haditechnika nagymértékű és újszerű fejlődése révén előtérbe került.³

2. Döntéshozatal, emberi tényező

Ha jobban belegondolunk, nincs a repülésnek olyan szakterülete, ahol egy hibás döntés meghozatala ne hordozna magában repülőesemény, katasztrófa lehetőségét. Hibázhat a légi jármű tervezője, a szabályalkotó, hibázhat a repülőműszaki szakember, tévedhet a repülésmeteorológus és a repülésirányító, és mindezen tévedések mellett, véthet a légi jármű vezetője, illetve eltérő súllyal bár, de összegződhet valamennyi szakág tévedése is. Látni kell azt is, hogy a fedélzeten bekövetkezett vészhelyzetek néhány esetben megoldhatatlan feladat elé állítják a légi jármű személyzetét, mivel azok meghaladják az emberi információfeldolgozó képesség határait. Azaz, gyakran túlságosan összetettek ahhoz, hogy a rendelkezésre álló idő mellett a normál vagy kiinduló repülési állapot helyreállítható legyen. Bármennyire is nyert a korábbi évekhez képest mára tágabb értelmet a szubjektív tényező fogalma, a repülőszemélyzet a döntések meghozatalával és annak következményeivel még ma is speciális helyzetben van.⁴

Az emberi tényezővel foglalkozó brit és amerikai kutatások a II. világháborút követően lendülnek fel. Abban az időben az úgynevezett HF- (humán faktor) megközelítésnek még csupán az ergonómiai és harci-lélektani oldalával foglalkoztak. Napjainkban egyre inkább ebbe a szubjektív tényezők körébe sorolják a repülőtechnika tervezőit, a repülőgép-vezetőre ható külső és belső befolyásoló tényezőket, de még a repülési szabályok megalkotóit is. Korábban az emberi döntéshozatal elemzése alatt csak a repülőgép-vezető hibáira koncentráltak. Mára az emberi tényezők köre már kiterjed a földi személyzetre, a karbantartókra és a repülésirányítókra is. Mindezek mellett – az olyan objektív vonásaik ellenére, mint a viszonylagos állandóság – a repülésbiztonságot befolyásoló tényezők körébe helyezzük a repülési szabályokat és a repüléstudomány fejlettségét, amelyek alapjaiban adják meg a repülés kor szerinti kereteit, így a tágabb értelemben vett repülési környezetet.⁵

A humán megközelítés előtérbe kerülése, jelentősége az elmúlt néhány év repülési statisztikáinak elemzésével könnyen szemléltethető. A repülőbalesetek meghatározó részét, mintegy 80–85%-át, valamilyen emberi hiba, téves döntés vagy döntések sorozata okozza.⁶ Megkockáztatható tehát az a kijelentés, hogy ha a téves emberi döntések száma csökken, a repülésbiztonsági mutatók jelentősen javulnak. A modern kutatások nyomán, az emberi tényező így egyre árnyaltabban jelent meg. Ugyanakkor a repülőtechnika megbízhatósága mára olyan szintet ért el, hogy a repülésbiztonság további növelésére ezen a téren egyre

² „Az emberi tényezőkön mindazon egyéni és szervezeti jellemzők és hatások összességét értjük, amelyek a repülésbiztonság alakulására közvetlen hatással bírnak.” Dudás Zoltán: Repülésbiztonsági veszélyek és kockázatok. *Repüléstudományi Közlemények*, (2003), ksz. 1–6.

³ Füleky András: Döntéshelyzetben. *Hadtudományi Szemle*, 5. (2012), 1–2. 191.

⁴ Remes Péter: *Balaton, a pszichés teljesítmény mérésére alkalmas készülék*.

⁵ Füleky (2012) i. m. 192.

⁶ Dudás Zoltán: Repülőesemények, statisztikák 1957–2005. *Repüléstudományi Közlemények*, (2006), ksz. 1–16.

kisebb lehetőségek adódnak. Kézenfekvőnek mutatkozik tehát az emberi tényező területének kutatása, amely ma már nemcsak repülésbiztonsági tényező, hanem sajátos nézőpont is.

Az emberi tényezőt mint a repülési rendszer elemét tehát a legfontosabbak között szokás megemlíteni. A repülés összetett rendszer lévén, összetett munkakörnyezetben zajlik. A katonai repülés elemzése során két alapvető kérdést mindenképpen célszerű tárgyalni. A kiképzés személyiségformáló hatását, és a személyiség hatását a döntéshozatalra. Az ember mint a rendszer mozgatórugója csak akkor képes ebben a sokszor korántsem barátságos környezetben optimálisan teljesíteni, ha a szakma magas fokú ismeretén túl ismeretekkel rendelkezik önmagáról, többek között mentális és fizikai képességeiről. Ehhez minden, a repülésben tevékenykedő szakembernek egy sor általános és személyre szabott emberi jellegzetességet kell ismernie és felismernie a saját szakterületén végzett munkája során. Az emberi teljesítő-képesség, alkalmasság és komplex viselkedésminták területén a legfontosabb jellegzetességek a teljesség igénye nélkül az alábbiak szerint foglalhatók össze:

- fizikai állóképesség;
- mentális képesség;
- vérmérséklet;
- kommunikációs képesség;
- döntési képesség és helyzetmegítélés;
- vezetési és együttműködési képesség;
- repülési jártasság;
- ember-gép kapcsolat (*human engineering*).⁷

3. Pszichés terhelés egyes összefüggései

Selye János magyar származású kanadai kutató azt találta, hogy a mindennapi életünkben átélt behatások, hatások, amelyek az érzelmi, vegetatív idegrendszerünkre és azon keresztül a hormonális rendszerre hatnak, jelentős mértékben befolyásolják a test állapotát. Selye kutatásai voltak az elsők, amelyek a psziché és a test kapcsolatát kezdték tudományosan vizsgálni, és ő volt az, aki elmagyarázta a pszichoszomatikus betegség fogalmát. Stressznek azt az állapotot tekintjük, amikor adott behatásra (stresszorra) adott élettani, testi válaszok általános alkalmazkodási tünetegyüttesben nyilvánulnak meg.⁸

Tekintsük át, hogy egy repülőgép üzemeltetése során milyen stresszorok léphetnek fel.

Külső behatások (fizikai stresszorok):

- időjárás-változás, hőmérséklet, páratartalom;
- oxigénhiány (magasság vagy légszennyezettség okán);
- testünket ért sérülések (ütés, seb, szorító ruha, lábbeli);
- magas zajszint;

⁷ Dudás Zoltán: *A repülési biztonságkultúra fejlesztésének lehetőségei a Magyar Honvédség légijerében, különös tekintettel az emberi tényező formálására*. Doktori értekezés, Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2007. 14–16.

⁸ Völgyi Zoltán: A harctevékenységhez kapcsolódó stressz pszichológiai aspektusai. *Hadtudományi Szemle*, 11. (2018), 1. 277–278.

- rezgések frekvenciája;⁹
- monotonía (hosszú távú repülések, készülségi vagy készenléti szolgálatok);¹⁰
- tömeg, zsúfoltság, forgalom;
- fertőzések, kórokozók jelenléte;
- táplálkozás megváltozása (rendszerességben, ételösszetételben, hozzáadott anyagokban, vegyi anyagokban, tápanyaghiány okán);
- fokozott izommunka (kiképzés, gyakorlat, bevetés);
- krízishelyzet, vészhelyzet;
- szedatív anyagok (nyugtatók, altatók használata);
- kábítószer, alkohol fogyasztása.

Belső élmények, érzések:

- megnőtt randomitás (felgyorsult élet, fokozott digitalizáció, időkényszer, döntési lehetőségek nagy száma);
- felgyorsult és nagyszámú információs csatornák (komplex digitalizált rendszerek kezelése, internet, közösségi médiumok, televízió, rádió);
- változások (élethelyzet, szolgálati körülmény, kapcsolati rendszer, párkapcsolat);
- emberi kapcsolatok kezelése (siker, vita, konfliktus).

Egyénenként eltérő, hogy bizonyos stresszorra milyen mértékben, milyen tünetekkel reagálunk, és milyen hosszú és milyen lefutású lesz a regenerálódás időszaka.

Selye professzor úgy fogalmazta meg, hogy egy stresszor részben a behatást ért szervünkönél okozhat elváltozást, de emellett minden alkalommal megjelenik a stressz-szindróma folyamata is.

A stresszel járó tünetcsoport – amelyet a tudomány általános adaptációs szindrómának nevez¹¹ – lefutásának három jól elkülöníthető, pontos jellemzővel leírható szakasza van:

1. Alarm vagy vészreakció: ami a szervezet védelmi erőinek riadókészülsége a testünket érő ingerrel szemben. Ideálisan ez az állapot rövid ideig – percekig, órákig, extrém esetben pár napig – áll fenn, és ezt követően megkezdődik a szervezet regenerálódása. Ilyenkor pihenéssel, alvással táplálkozással helyreáll a testi és lelki kiegyensúlyozott állapot. Megfelelő, kiegyensúlyozott körülmények között a repülőgép-vezető ezzel a jelenséggel találkozik.
2. Adaptáció: ha a fenti folyamatban a testet ért behatás fennmarad, tartóssá válik, akkor már az alkalmazkodás állapotáról beszélünk. A szervezet megvédésére irányuló élettani folyamatokban testi elváltozások figyelhetők meg. Ebben a folyamatban a vegetatív idegrendszer és a kortizol hormon működése kerül előtérbe. A stressz-szindróma mindaddig fennmarad, amíg nem változtatunk a behatásokon, nem teremtünk időt és lehetőséget a teljes regenerálódásra.

A vegetatív idegrendszer biztosítja a szerveink, szervrendszereink, azaz a:

- keringési rendszer (szív, érhálózat);

⁹ Az ausztráliai Melbourne-i Királyi Műszaki Egyetem kutatói megállapították, hogy a gépjárművezetők álmoságának fő oka nem is a monotonitás, hanem az alacsony frekvenciájú rezgések egyénre gyakorolt hatása.

¹⁰ Szemelvények dr. Kuti Norbert orvos alezredes előadásából. Szolnok, 2020. 01. 06.

¹¹ GAS – General Adaptation Syndrome – általános alkalmazkodási tünetegyüttes.

- légzőrendszer (tüdő, légutak);
- emésztési rendszer (nyelőcső, gyomor, béltraktus);
- kiválasztási rendszer (vese, húgyhólyag);
- nemi szervek;
- hormonális rendszer;
- ciklikus folyamatok (hormonműködés, alvás-ébrenlét ritmikája);
- idegrendszer;
- mozgató szervrendszer működését szabályzását, együttműködését.

Összességében a hormonrendszer és a vegetatív idegrendszer biztosítják a regenerálódást. Azonban ha túlterhelés áll fenn, ezek is kimerülnek, és különféle testi tünetek jelennek meg: vese-, szív-, emésztő- és érrendszeri tünetek, magas vérnyomás, reumás és ízületi fájdalmak, gyulladáshoz vezető folyamatok, túlérzékenység, allergiás tünetek, hormonális zavarok, ideg- és elmezavarok, devianciák, pániktünetek, depresszió, daganatos elváltozás, megbetegedés. Ebben a stádiumban komplex orvosi kivizsgálás és a tapasztalatok szerint a legtöbb esetben kezelés is szükséges.

3. Kimerülés: ha a környezet továbbra is kedvezőtlen és a behatások, ártalmak hatása fennáll, akkor egy idő után az adaptációs szakasz véget ér (szabályozási határ), és a kimerülés szakasza következik, amelynek érdekessége, hogy a tünetei nagymértékben hasonlítanak az első szakaszban tapasztaltakhoz. Ekkor már a testünkben orvosilag igazolható elváltozások történtek, ami jelentősen korlátozhatja a mindennapi életvitelünket. Éppen ezért a legtöbbször csak ekkor figyelünk fel a problémára, ekkor történik az első kivizsgálás, és ekkor derülnek ki a betegségek, és kezdődhet meg a kezelés. A feltáró beszélgetések során kiderül, hogy a beteg számára is feltűntek a második szakasz tünetei már hetekkel, hónapokkal korábban, csak nem foglalkozott vele.

A problémára a megoldás első lépcsőfoka a felismerés, és a teljes körű kezelés megkezdése. Ennek során kompromisszum nélkül csökkentenünk kell a külső stresszorokat. Vannak bizonyos tényezők, amelyek nem lehet változtatni, például az időzónák gyakori átlépése, az időjárás- vagy éghajlatváltozás.¹²

A fenti gondolatok jól megvilágítják azt a helyzetet, amellyel a katonai állomány kiképzés közben vagy műveleti területen találkozhat, vagyis a rendkívüli igénybevétellel és annak élettani hatásaival. Műveleti területen azonban a körülmények nem minden esetben alakíthatók úgy, hogy az alany számára a regenerálódási folyamat megkezdődjön. Ezt a fokozott igénybevételt nagy valószínűséggel olyan személy képes kielégítő szinten elviselni, aki az AC módszer¹³ szerint a jelölti vagy az előmeneteli rendszerre optimalizált kiválasztási folyamata során megfelelt. Az így rendszerbe vagy magasabb beosztásba kerülő katonák még mindezek után is csak speciális kiképzéssel válnak alkalmassá arra, hogy az extrém terhelés mellett a feladat teljesítésük szintje közel állandó maradjon. Természetesen ez nem jelenti azt, hogy a küldetés végére nem marad vissza pszichés vagy fizikai károsodás, azonban nagy

¹² Györffy Ágnes: *Leiki egyensúlyunk*. szerzői kiadás, 2006. 16–29.

¹³ Assessment Centre módszer – tudományos és tapasztalati alapon kidolgozott alkalmasság vizsgálat, kiválasztási folyamat.

valószínűséggel az alkalmas és felkészített katona képes a feladatot végrehajtani, vagyis nem jelent kockázatot sem a küldetés, sem a csapat többi tagja számára.

4. A mai kor kihívásai¹⁴

Figyelemmel kísérve a haditechnika legújabb fejlesztéseit, számos olyan programot találunk, amely az egyes katona, az ember fizikai vagy kognitív képességeit terjeszti ki (például UAS¹⁵-operátorok, kiberhadviselés szereplői, PSYOPS¹⁶ alkalmazói), vagy éppen a képességeinek határait feszegeti (például digitális katona program, nagy manőverező képességű, vagy különleges alkalmazású repülőgépek, helikopterek üzemeltetése, vagy az információfeldolgozási sebességigény meghaladja az emberi teljesítőképességet). Azonban minden mögött továbbra is az ember áll, aki evolúciós léptékben mérve nagyságrendekkel gyorsabb technológiai fejlődéssel találja magát szembe. Képességeit tekintve olyan kihívásokkal, amelyeknek már pszichológiai és fiziológiai okokból nem, vagy csak korlátokkal felelhet meg.¹⁷ Kérdés, hogy a technikai képességfejlesztésnek hol a határa, illetve mik a fejlesztés további lehetőségei, kihívásai, irányai? Melyek ezen új korszak, vagyis az új ember-gép kapcsolat (*human-machine teaming*) végső határai, ismérvei mind a kiképzés során, mind a hadszíntéren?

Meg kell érteni, hogy az új repülőgép- és helikoptertípusok nem egy régi, korábról beazonosítható haditechnikát fognak helyettesíteni, hanem új, eddig többnyire nem tapasztalt képességeket jelenítenek meg, azaz új típusú haditechnikai eszközként kell bevezetni.

Az ilyen jellegű haditechnikai korszakváltás esetén érdemes egy rövid időre újra felidézni az emberi szervezet pszichológiai és fiziológiai működési folyamatait leíró természettudományos alapokat és elemezni a változásokkal járó lehetséges – az üzemeltető állományt érő – hatásokat.

A hatékony és célirányos kiválasztási folyamat eredményeképpen beiskolázott, kiképzett és feladatait magas szinten ellátó repülőhajózó állomány esetében is számos olyan beazonosított, sajátos tényező merül fel, amely kihathat a feladatellátás eredményességére, az egyén egészségi állapotára, munkavégző képességére, így akár közvetlenül a szakmai pályafutására.

A cikk további részében osztályozott jellemzők a repülőhajózó beosztást, tevékenységet kísérő olyan befolyásoló tényezők (stresszorok) listája, amelyek a korábbi steril vagy tankönyvi felsorolástól eltérően a feladatot ellátó személyek tapasztalataiból származnak. Ezek hatása is alanyonként eltérő súlyozással jelenhet meg, és közülük akár egy-egy tényező is kimutathatóan befolyásolhatja az egyén munkavégző képességét. Kimutatható továbbá, hogy a felsorolt tényezők közül egy alany esetében hosszabb-rövidebb ideig több is jelen van, amely akár jelentős kockázatot hordozhat a feladatellátásra, mivel hatásuk összességében a fizikai stresszorokkal szembeni ellenálló képesség csökkenését eredményezi.

A fentiek szerint tehát megkülönböztethető:

1. döntően az egyén cselekvési körébe vonható életmódbeli kockázatok, stresszorok:

¹⁴ Fülek András: Assessment Centre módszer és annak katonai alkalmazási lehetősége Magyarországon. *Hadtudományi Szemle*, 12. (2019), 3. 21–36.

¹⁵ Unmanned Aerial Systems.

¹⁶ Psychological Operations.

¹⁷ Ezt a helyzetet felismerve a digitális katona programba beemeltek egy a pszichés teljesítmény mérésére alkalmas módszert és készüléket.

- nem megfelelő táplálkozás, folyadékbevitel;
 - mozgás hiánya, fizikai edzettség hiánya;
 - kifáradás (pihenés, relaxáció elmaradása);
 - önsorsrontó tényezők megjelenése (erkölcsi tartás);
 - szubjektív környezet (higiénia, lakóhely, munkahely, közösség);
 - közösségi és magánéleti (interperszonális) konfliktusok;
 - egészség miatti aggodalom;
 - új típus bevezetésével járó többletterhelések („félelem az újtól” érzés);
 - nyelvismeret hiánya vagy annak nem megfelelő szintje miatti szorongás;
 - életkori vagy technológiai generációs konfliktus;
 - analóg-digitális átállás életkorból és előképzettségből adódó sajátosságai.
2. az egyén cselekvési körén kívüli, a stressz kialakulásának rendszerszintű összetevői:
- a katonai repülési feladatok sajátosságából adódóan a repülőhajózó életmód, időbeosztás miatt mindennapjaink megélésére fordítható időegyensúly mód-szeresen felborul, vagyis keveredik az:
 - élettani szempontból kötött idő (életfolyamatok általi meghatározottság),
 - társadalmi szempontból kötött idő (kialakult életritmus általi meghatározottság),
 - szabadidő;
 - a hierarchikus rendszer;
 - túl- és alulterheltség (létszámhiány okozta feszültségek, koordináció hiánya);
 - időkényszerben történő munkavégzés (egyéni képesség jelentősége);
 - többműszakos vagy kiszámíthatatlan munkarend;
 - nem egyértelmű feladatmeghatározás;
 - szabályrendszer hiánya vagy nem megfelelő volta;
 - bizonytalan jövőkép;
 - elismerés hiánya;
 - panaszlehetőség hiánya;
 - piac elszívó hatása (szakmai kihívás vagy jövedelemszint, illetve „követem a kollégát” érzés);
 - jogi szabályozással történő röghöz kötés;
 - a szolgálatteljesítést támogató szociális juttatások biztosításának bizonytalansága, hiánya;
 - a nemzetközi normák alapján elvárható szolgálati és szakmai körülmények hiánya;
 - műveleti alkalmazás nem teljes vagy rövid adaptációs időszakot engedő felkészítéssel és azt követő intenzív igénybevétellel;
 - a szövetségesi környezettől eltérő struktúrából adódó többletfeladatok;

- „no blame culture”¹⁸ alkalmazása vagy csak színlelése;
- az egyén és az üzemeltetett repülőtechnika nem optimális kihasználása;
- kedvezőtlen fizikai munkakörülmények (zaj, komfort-klíma, vibráció, hypoxia, védőeszközök hiánya vagy ismert hiányossága);
- nem megfelelő helyszínen végrehajtott (szubalpin körülmény elvetése) vagy elmaradó regeneráció;
- több típuson és/vagy típusváltozaton történő egyidejű feladat-végrehajtás;
- a hadrendbe bevezetendő legújabb fejlesztések bevezetése mellett a megfelelő mentális felkészítés hiányossága/elmaradása.

A fenti felsorolás jól kirajzolja mindazon szervezeti és egyéni nehézségeket, megoldásra váró feladatokat, amelyek előttünk állnak, és amelyek feloldásával lépésről lépésre javíthatunk a működés hatékonyságán, a teljes képesség elérése érdekében.

5. Befejezés

Nem kétséges, hogy a Magyar Honvédség új, eddig nem tapasztalt lehetőség és helyzet előtt áll. Egyidőben történik új repülőeszközök beszerzése és rendszerbe állítása, a szükséges működési körülmények, infrastruktúra kialakítása, a szabályzók megalkotása és természetesen az üzemeltető, üzemeltető állomány kiképzése, átképzése. Történik ez olyan feltételek mellett, hogy mindeközben az érintett alakulatoknak az alaprendeltetésből adódó feladatait teljeskörűen el kell látnia.

Ebben a sokparaméteres és folyamatosan változó rendszerben kell optimumot találni, amely gyakorlatilag teljes hatékonysággal nem valósulhat meg. A repülő szakember felelőssége ott mutatkozik meg, hogy a már bizonyos hibákkal rögzült folyamatokban fedezzen fel olyan beavatkozási pontokat és irányokat, amelyek lehetőséget teremthetnek a biztonságos feladat-végrehajtásra, és az eredetileg kitűzött célok elérésére, kiemelt helyen kezelve a rendszer legnagyobb értékét képviselő elemét, az embert.

Felhasznált irodalom

Dudás Zoltán: Repülésbiztonsági veszélyek és kockázatok. *Repüléstudományi Közlemények*, (2003), ksz. 1–6. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2003_cikkek/dudas_zoltan.pdf

¹⁸ A Magyar Honvédség repülőalakulatainál – elsősorban Kecskeméten – a Gripen-program megjelenésével a svéd képzési rendszer, a kiképzés, az egyre szorosabbá váló svéd–magyar repülőszakmai együttműködés során lassan kialakult egyfajta szemléletváltás a feladatellátás során elkövetett emberi hiba megítélésében. A „no blame culture” azt a megközelítést támogatja, amelynél elfogadott, hogy a repülésben részt vevő szakállomány a tevékenysége során hibázhat. Ezt az érintett(ek) minden esetben közzéteszi(k) (pl. gyorsjelentés formájában), illetve ha a hiba komolyabb következménnyel jár, akkor a vizsgálat adott fázisai, majd összegzett eredménye kerül ismertetésre. Ennek célja nem az alany megbélyegzése, hanem a tanulság levonása. Az adott személy a nem szándékos hiba ellenére is a rendszer értékes és fontos eleme kell hogy maradjon, őt szakmai és erkölcsi szempontjából hátrány ne érje, viszont a hiba mielőbbi szakmai értékelése, a tapasztalatok képzési folyamatba történő beépítése elmaradhatatlan lépés kell hogy legyen.

- Dudás Zoltán: *A repülési biztonságkultúra fejlesztésének lehetőségei a Magyar Honvédség légierejében, különös tekintettel az emberi tényező formálására*. Doktori értekezés, Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2007.
- Dudás Zoltán: Repülőesemények, statisztikák 1957–2005. *Repüléstudományi Közlemények*, (2006), ksz. 1–16. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2006_cikkek/dudas_zoltan.pdf
- Füleky András: Döntéshelyzetben. *Hadtudományi Szemle*, 5. (2012), 1–2. 185–193.
- Füleky András: Assessment Centre módszer és annak katonai alkalmazási lehetősége Magyarországon. *Hadtudományi Szemle*, 12. (2019), 3. 21–36. Online: <https://doi.org/10.32563/hsz.2019.3.2>
- Győrffy Ágnes: *Lelki egyensúlyunk*. Szerzői kiadás, 2006.
- Remes Péter: *Balaton, a pszichés teljesítmény mérésére alkalmas készülék*. Online: http://drremes.no-ip.org/content.php?pdf*2017_11_20_100/ures.pdf
- Völgyi Zoltán: A harctevékenységhez kapcsolódó stressz pszichológiai aspektusai. *Hadtudományi Szemle*, 11. (2018), 1. 270–286.



Dudás Zoltán¹ – Ujvári Bence²

A drónelhárítás módszerei és lehetőségei

A szerzők bemutatják a távirányítású repülőgépes rendszerek jogszerűtlen alkalmazásából eredő veszélyforrásokat. Valós példákon keresztül illusztrálják a drónok rosszindulatú használatának veszélyeit. A lehetséges védekezési módok önmagukban nem elegendőek az ilyen felhasználásból adódó kockázatok lecsökkentésére, ám a rendelkezésre álló technológiák kombinálásával funkció és hatás szerint tagolt hatékony védelmi struktúra hozható létre.

Kulcsszavak: drón, drónelhárítás, veszélyforrás, UAS³

Methods and Feasibilities of Drone Protection

The authors work on the hazards arising from the illegal use of remotely piloted aircraft systems. Through real-life examples they illustrate the perils caused by malicious use of drones. The possible protection methods alone are not sufficient to reduce the risks of such a use, but by combining the available technologies, an effective protection structure divided by function and effect can be built.

Keywords: drone, drone protection, hazard, UAS

1. Bevezetés

A távirányítású légi járművek alkalmazásának elterjedése nem csupán előnyökkel, hanem negatív következményekkel is jár. Az eszközök könnyű hozzáférhetősége és ellenőrizetlen felhasználása újszerű veszélyforrást jelent, amelyre számtalan példa hozható fel. Az egyik komoly kihívás mellett, amely az UAS-működésnek a hagyományos rendszerekbe történő biztonságos integrálása érdekében folyik, egyre inkább előkerül a rosszindulatú felhasználással szembeni fellépés technikai, módszertani és alkalmazási vetületeinek vizsgálata.

¹ Adjunktus, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék, e-mail: dudas.zoltan@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8682-884X>

² BSc-hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék, Állami légijármű-vezető szakirány, e-mail: ujvari.b97@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5685-4393>

³ UAS: Unmanned Aircraft System – a pilóta nélküli légi járművön kívül a működését biztosító környezetet is magában foglalja.

2. A drónok rosszindulatú használatából adódó veszélyforrások

A drónok terjedése a világban újfajta veszélyforrások megjelenésével jár együtt. A távirányítású repülőgépek és helikopterek alkalmazása jó kézben hasznot hoz, rossz kézben pedig a biztonságunkra fenyegetést jelent. Ékes példája mindennek az az eset, amikor 2013 szeptemberében Angela Merkel német kancellár kampánysorozatának drezdai állomásán egy UAV átrepült a tömeg felett, és a kancellár lábai előtt csapódott a földre.⁴ 2015 januárjában pedig szintén egy távirányítású eszköz repült be és zuhant le a Fehér Ház területén. Mindez úgy történt, hogy a Fehér Ház radarja semmit nem jelzett a történetekből, mivel sokkal nagyobb méretű fenyegetések – repülőgépek, rakéták – észlelésére volt beállítva.⁵ Drámaibb következményekkel járhatott volna az a támadás, amelynek során 2015 áprilisában a Sendai atomerőmű újraindítása ellen tiltakozó tüntető a japán miniszterelnök irodájának tetejére röptetett egy drónt, céziummal teli műanyag palackkal a fedélzetén.⁶

A fenti példák élesen mutatnak rá, mennyire sokrétű veszélyforrást jelenthetnek a szabálysértő, változatos konstrukcióban megjelenő UAV-k. Méretük változó, a legkisebb néhány centiméteres is lehet, a legnagyobb pedig a 40 m-es szárnyfeszítéssel rendelkező Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk. Méretüktől függetlenül nagy felbontású, jó minőségű kamerákkal lehetnek felszerelve, ezáltal szinte észrevehetetlen módon képesek felvételeket készíteni. A pilóta nélküli légi járművek fénykép- és videókészítő képességét kihasználva, illetéktelenek akár személyi azonosítókhoz, jelszavakhoz, PIN-kódokhoz, bankszámla-információkhoz férhetnek hozzá.

A katonai szférában a haditechnikai eszközök állapotáról, mennyiségéről, típusokról, egységek elhelyezkedéséről, csapatmozgásokról, rejtett figyelők helyzetéről, védelmi rendszerek működéséről, járőrözési útvonalakról és eljárásokról szerezhetnek információkat, ez pedig komoly biztonsági kockázatot jelent. Erőszakos módon felhasználva őket – például polgári vagy katonai szállítógépekkel összeütköztetve – emberi életet, haditechnikai eszközöket veszélyeztethetnek, veszélybe sodorva a műveletek sikerét. Lakott terület felett egy fegyvereket és robbanóanyagokat szállító katonai légi járművet érő dróntámadás a civil lakosság életére, a világörökség részét képező objektumokra és földrajzi nevezetességekre, valamint a növény- és állatvilágra jelent kockázatot. Mivel az állami célú légi közlekedés során katonai és állami vezetők szállítására is sor kerülhet, egy ilyen jellegű támadással az állam működésében kiemelt fontosságú személyek életüket veszthetik. A kritikus infrastruktúrák kiemelt célpontok lehetnek egy dróntámadás során. Példaként érdemes említenünk egy 2019 szeptemberében történt eseményt, amikor az Irán által támogatott híti felkelő hadsereg dróntámadásokat vezetett az Aramco olajvállalat olajmezői és feldolgozó üzeme ellen. A támadás következményeként a szaúdi olajtermelés napi 5 millió hordóval csökkent, amely a királyság olajtermelésének felét, azaz a világgiazi termelés 5%-át jelenti. A kőolaj árfolyama évtizedek óta nem látott mértékben emelkedett: a Brent árfolyama közel 20%-kal nőtt.⁷ Az eset jól mutatja, hogy a drónok rosszindulatú alkalmazása milyen károkat képes okozni egy kiemelt

⁴ Sean Gallagher: *German chancellor's drone "attack" shows the threat of weaponized UAVs*. Ars Technica, 2013.

⁵ Michael D. Shear – Michael S. Schmidt: *White House Drone Crash Described as a U.S. Worker's Drunken Lark*. *The New York Times*, 2015.

⁶ Will Ripley: *Drone with radioactive material found on Japanese Prime Minister's roof*. CNN, 2015.

⁷ Michael Safi – Graeme Wearden: *Everything you need to know about the Saudi Arabia oil attacks*. *The Guardian*, 2019.

fontosságú létesítményben, közvetve pedig a világpiac működésében. Biztonsági szakértők az eset megtörténte előtt úgy gondolták, az ilyen kritikus infrastruktúrák védelme biztosítva van, azonban a támadás rámutatott, hogy a világ energiaellátó létesítményei sebezhetőbbek, mint hitték, és célpontnak tekinthetők.

Amint az alábbi példából kitűnik, nem feltétlenül szükséges a drónokat fegyverekkel felszerelni ahhoz, hogy kárt tudjanak okozni. Bizonyos esetekben, a légtérben való pusztá jelenlétük is kockázatot jelent, amely képes megbénítani a teljes infrastruktúrát. 2018 decemberében több alkalommal hajtottak végre drónrepüléseket a londoni Gatwick repülőtér légterében, aminek következtében a légi forgalmat fel kellett függeszteni. A több mint 40 berepülés között akadt olyan eset, amikor a pilóta nélküli légi járművet 25–30 m távolságban reptették egy Airbus A320 típusú repülőgéptől, ezért annak vészhelyzeti kitérő manővert kellett végrehajtania.⁸ Az incidens összesen megközelítőleg ezer járat törlését vagy átirányítását eredményezte, 140 ezer utast érintett, nagy veszteségeket okozva a légitársaságoknak, a repülőtérnek, valamint az utasoknak.⁹

A jogtalanul reptetett drónok nem csak a polgári repülést akadályozhatják, a katonai, rendvédelmi és mentőhelikopterek munkáját is képesek lassítani szabálysértő berepülésekkel. A 2010-es vörösiszap-katasztrófa során a Magyar Honvédség helikoptereinek és pilótáinak köszönhetik sokan az életüket. Ebben az esetben kritikus jelentőségű volt, hogy a pilóták időben kórházba tudták szállítani az érintetteket, végzetes kimenetele lehetett volna, ha drónokkal megzavarják a műveleteket. A nagy teljesítményű, professzionális pilóta nélküli eszközök képesek a helikopterekkel egy magasságon repülni. Ez kifejezetten egy vészhelyzet, katasztrófa, sebesültszállítás, bűnüldözési helyzet közben jelent komoly kockázatot. Emberi életek múlhatnak azon, hogy egy mentőhelikopternek útjába kerül-e egy drón, ezáltal késleltetve a helyszínre vagy a kórházba való érkezését. Erdőtűzek terjedhetnek tovább, ipari és természeti katasztrófák súlyossága nőhet, ha a katonai helikopterek nem tudják megfelelően ellátni feladataikat a zavarások miatt.

Miért vonzó lehetőség a drónok jogtalan alkalmazása? Jevgenyij Mjasznyikov összefoglalta az UAV-k terroristák számára nyújtott előnyeit:

- Szárazföldről nehezen elérhető célpontok támadásának lehetősége.
- Nagy kiterjedésű területek támadásának lehetősége, a maximális halálozási arány elérésével (kifejezetten biológiai és vegyi fegyverek városi alkalmazásával).
- A támadások előkészítésének fedettsége, valamint az UAV indítási pontjának flexibilis megválaszthatósága.
- Nagy hatótávolság elérése megfelelő pontossággal, relatív olcsón és egyre széleskörűbben elérhető technológiával.
- A légvédelmi eszközök gyenge hatékonysága az alacsonyan repülő UAV-k ellen.
- Költséghatékonyság a repülőgépekkel és ballisztikus rakétákkal szemben.
- Komoly pszichológiai hatás elérésének lehetősége az emberek megfélemlítésével és a politikusokra gyakorolt nyomással.¹⁰

⁸ PA Media: Passenger plane in near-miss with drone at Gatwick airport. *The Guardian*, 2019.

⁹ Airportal.hu: *Drónok miatt bénult meg a légiforgalom a London–Gatwick repülőtéren*. 2018.

¹⁰ Eugene Miasnikov: *Threat of Terrorism Using Unmanned Aerial Vehicles: Technical Aspects*. Moscow, Center for Arms Control, Energy and Environmental Studies, Moscow Institute of Physics and Technology, 2015.

Patrick Stevens, az Interpol terrorelhárításért felelős igazgatója szerint a kritikus infrastruktúrákat és könnyű célpontokat drónnal támadó terroristacsoportok jelentette növekvő fenyegetés szükségessé teszi a rendvédelmi szervek közösségén belüli globális információ- és tapasztalatcseréjét a drónok elleni védekezésben. Ugyanakkor a drónok a bűnüldözésben való alkalmazása számos előnnyel is jár, hiszen információkkal (sebesség, magasság, GPS-adatok, ujjlenyomat, DNS) és bizonyítékokkal szolgálnak a bűnözőkről.¹¹ A 2018-as Formula 1-es évad silverstone-i versenyén a DJI cég AeroScope nevű drón-detektáló eszköze a verseny kvalifikációs szakaszában sikeresen detektált egy illetéktelen drónt a pálya határain belül. A rendezvény biztonságaért felelős személyzet információt kapott a drónt irányító személy valós idejű helyzetéről, akik ezáltal képesek voltak megtenni a verseny biztosításához szükséges ellenlépéseket.¹² A példa jól mutatja, egy C-UAS¹³-rendszer felderítő képessége mennyire hatékony tud lenni a bűnüldözésben. Ezt a lehetőséget integrálva a helyi rendvédelmi szervek, terrorelhárítási egységek bűnmegelőzési rendszerébe még hatékonyabb munkát, valamint jövőbe mutató elemzéseket lehet elérni.

2.1. Lehetőség ellentevékenységek

A drónelhárító rendszereket angolul Counter-UAS vagy C-UAS-rendszereknek nevezzük. Napjainkban megoszlan látszik az iparág, egyes gyártó cégek az UAV-k blokkolását rádiófrekvenciás (RF) zavarókkal, jelhamisítással (*spoofing*) és elektronikai interferenciával képzelik, mások azonban a drónok mechanikus semlegesítésében látják a megoldást.¹⁴

A C-UAS-rendszerek piaca növekszik, jelenleg 235 termék van bejegyezve 155 cégtől, 33 különböző országból. Ezek közül néhány már használatban van, mások még fejlesztés alatt állnak. A 235 termékből 88 csak felderítésre, 80 csak semlegesítésre alkalmas, 67 pedig mindkettő feladatot képes ellátni. A rendszerek nagy része földi telepítésű, emellett vannak kézből alkalmazhatók és olyanok is, amelyek egy drónplatformról üzemelnek. Természetesen ezek kombinációi is léteznek. A legnépszerűbb detektálási módszerek a radar, rádiófrekvenciás (RF-) eszköz, elektrooptikai (EO-) és infravörös (IR-) szenzorok használata. Semlegesítés terén a legelterjedtebb az RF vagy GNSS¹⁵ zavarás (*jamming*).¹⁶

Jamming, azaz zavarás alatt azt az ellentevékenységet értjük, amikor a drón és az operátora közötti kommunikációt blokkolva akadályozzuk az UAV további működését. Egyes drónok ilyen esetekben visszatérnek az utolsó koordinátára, ahol még kaptak jelet, esetleg egészen vissza a kiindulási pontig, másfajta drónok a földre zuhannak. A spoofing módszer abban tér el az előzőtől, hogy az eljárás során egy harmadik félnek is lehetősége van átvenni az irányítást a drón fölött. Tim Bean, a Fortem Technologies vezérigazgatója szerint ezek az eljárások azonban csak bizonyos körülmények között alkalmazhatók. Szerinte a drónpilóták 30–40%-a már nem rádiófrekvencia alapján irányítja az eszközöket, hanem útvonalpontok használatával.

¹¹ Interpol: *Drone technology: security threats and benefits for police focus of Interpol forum*. 2018.

¹² COPTRZ: *COPTRZ DDaaS – Drone Detection as a Service*. 2019.

¹³ C-UAS: Counter-Unmanned Aircraft System – olyan rendszerek megnevezése, melyek a pilóta nélküli légi járművek detektálására és feltartóztatására lettek kifejlesztve.

¹⁴ Talal Hussein: *When drones are used maliciously, can anyone stop them?* Airforce Technology, 2019.

¹⁵ GNSS: Global Navigation Satellite System – globális műholdas navigációs rendszer.

¹⁶ Arthur Holland Michel: *Counter-Drone Systems*. Center for the Study of the Drone at Bard College, 2018.

Ebben az esetben az RF-zavarók hatástalanok.¹⁷ Ilyenkor továbbra is alkalmazhatók a GNSS-zavarók, továbbá a mechanikus hatástalanítás elvén működő rendszerek.

A fentiekén túl a drón fizikai megsemmisítése is szóba jöhet. Egyes C-UAS-rendszerek nagy erejű lézersugarat használnak, mások földről kivetett hálóval kapják el a drónokat, illetve léteznek olyanok is, amelyek egy másik drónt lönek ki nagy sebességgel, ami a levegőből támad egy hálócspadát alkalmazva. Ezeknek a rendszereknek azonban sok esetben az államok jogszabályi háttere jelent akadályt. Ilyen esetre példa a Rafael Advanced Defense Systems Ltd. által gyártott rendszer, amelyből a brit szabályozás alapján el kellett távolítani a lézeres megsemmisítő képességet, ezáltal pedig jelentősen csökkent annak hatékonysága.¹⁸

A drónelhárításra további megoldást jelenthetnek a „geofencing” eljárások. Ezek szoftveres biztonsági rendszerek, amelyek GPS- és egyéb műholdas jelek alkalmazásával akadályozzák meg a drónokat, hogy olyan szenzitív létesítményekhez közel repüljenek, mint a repülőterek, börtönök, atomerőművek és kiemelt fontosságú rendezvények.¹⁹ Ezeket a rendszereket egyelőre csak kevés gyártó alkalmazza, és gyenge pontjuk, hogy bizonyos engedélyek megszerzésével feloldhatók a korlátozások, amelyek visszaélésekhez vezethetnek.

2.2. A védelmi rendszerektől elvárható képességek

Egy hatékony drónelhárító rendszer sokrétű, több komponensű technológiákat integrál magában. Elsősorban rendelkeznie kell a rendeltetésének megfelelő hatótávolságú felderítő berendezéssel. Fix telepítésű rendszerek esetében a több tíz kilométeres hatótávolság elvárható teljesítmény, valamint ellenállónak kell lennie az időjárás viszontagságainak. Olyan alapvető információkat kell azonosítani a szabálysértő drónról, mint a típus, azonosítási szám, pillanatnyi helyzet, magasság, sebesség, továbbá, ha a felszállási helyét és az operátor tartózkodási helyét is képes meghatározni, nagyban hozzájárulhat a rendvédelmi erők munkájához. Mobilisan telepíthető egységek esetében az antennák kisebb teljesítményét figyelembe véve a hatótávolság természetesen lecsökken. Az észlelés akkor hatékony, ha a rendszer együttesen képes több radar- és rádiófrekvenciás eszközt, elektrooptikai, valamint infravörös szenzorokat integrálni, kiküszöbölve a hibalehetőségeket, valamint lefedve a drónok rosszindulatú alkalmazási lehetőségeinek teljes spektrumát.

A modern C-UAS-rendszerek szükségszerűen több, egymástól eltérő elven működő hatástalanító eszközzel rendelkeznek, amelyek valamilyen kombinációját (*soft kill* és *hard kill*) képesek hatékonyan bevetni, amikor a szabálysértő drón eléri a semlegesítési zónát. A védelmi rendszerek jellemzően az elektronikai ellentevékenységeket részesítik előnyben, végső védelmi eszközként pedig a fizikai válaszcsepás is szóba jöhet. A védelmi rendszerek elektronikai egységei zavarják az ellenséges eszköz és az operátor közötti adatátvitelt, ugyanakkor képesek destabilizálni azokat az RC vezérlőjéből kiadott jelek és parancsok, a VHF és UHF dróncsatornák, valamint az eszköz GNSS jelének blokkolása útján. A jelzavarás következményeként a legtöbb esetben az eszköz földbe csapódik, kivételes esetben visszatér a vezérlőhöz. Az ellenséges drón irányítatlan lezuhanása természetesen további kockázatot jelent, hiszen energiatartalmánál

¹⁷ Hussein (2019) i. m.

¹⁸ Yuval Azulai: *Rafael to sell 6 anti-drone systems to UK for \$20m*. Globes, 2018.

¹⁹ DJI: *DJI Improves Geofencing To Enhance Protection of European Airports and Facilities*. 2019.

fogva jelentős károkat okozhat. Amennyiben a fedélzetén biológiai, vegyi fegyverek, robbanótöltetek, sugárzó anyaggal felszerelt eszközök is előfordulnak, az okozott kár és a hatás még drámaibb lehet. A drón „elhárítása” nem érné el a célját. Az ilyenfajta kockázat csökkentésére a *spoofing* módszer ad lehetőséget. Ez a drón feletti irányítás átvételét jelenti, ami lehetővé teszi a fenyegető eszköz biztonságos leszállítását anélkül, hogy a rászertelt fegyverek, anyagok kifejthetnék hatásukat. Repülőterek, atomeróművek, kormányzati létesítmények és egyéb kritikus infrastruktúrák környezetében a biztonság további növelése érdekében földbe mélyített leszállító helyek kiépítését is érdemes volna fontolóra venni, ha a felfegyverzett drónt más módon nem lehetne biztonságosan leszállítani. A földbe vajt leszállító helyen az ellenséges eszközöket biztonságosan el lehet különíteni.

A drónvédelmi struktúrát hagyományosan, szakaszosan célszerű kialakítani, ahol minden védelmi vonalnak megfelelő funkciója és változatos észlelő és ellentevékenységet biztosító közrendszer van. Abban az esetben, ha a támadó drón túljut az elsődleges védelmi vonalakon, a C-UAS-rendszer „hard kill” eszközei kerülnek előtérbe, immár fizikai megsemmisítéssel semlegesítve a fenyegetést jelentő eszközt. Véleményünk szerint erre a feladatra a nagy erejű lézersugár, valamint az elfogóháló a legalkalmasabb, azonban figyelembe kell venni, hogy alkalmazásukra az adott állam szabályozásaival összhangban van lehetőség. Az elfogóháló módszer alkalmazásakor érdemes figyelembe venni a tényt, hogy ezt a feladatot az autonóm rendszerek nagyobb pontossággal és hatékonysággal tudják végrehajtani, mintha emberi irányítással próbálnánk az ellenséges drónra való rávezetést megvalósítani, ami az Egyesült Államok Hadseregében szolgáló drónspecialisták tapasztalatai alapján a legtöbb esetben nem jár sikerrel.²⁰

Az elhárító rendszerek mellett, azokat támogatva célszerű *geofencing* módszereket is alkalmazni, amelyek leginkább a szabályokat betartó felhasználók segítségére valók, de használatukkal elkerülhetők a véletlenszerű, illetve a tájékozatlanságból adódó szabálysértések, amelyek így kockázatot jelenthetnek. Véleményünk szerint egyértelműen nem tekinthetünk védelmi eszközként ezekre a szoftverekre, mivel bennük módosítások közölhetők (a megfelelő engedély megszerzése után feloldhatók például a korlátozott zónák paraméterei) ez pedig magában hordozza a visszaélés lehetőségét. Ha egy rendszer hozzáférhető kód segítségével semlegesíthető, akkor könnyű célpontot jelent a rosszindulatú hackerek számára. Mindenesetre e lehetőség segítheti és könnyebbé teheti a szabályos drónhasználatot, növelheti az operátorok tájékozottságát.

A bemutatott felderítési és megelőzési módszerek, az ellentevékenységek dokumentálása, valamint a visszakereshetőség is fontos tényező, leginkább a tapasztalatgyűjtés és nem utolsósorban a felelősségre vonás lehetőségének biztosítása érdekében.

3. Összegzés

A drónok rosszindulatú felhasználása ellen ma már számos technikai eszköz áll rendelkezésre. Ezek helyes megválasztásával és konfigurálásával a távirányítású eszközök jelentette fenyegetés kezelhető, a rosszindulatú alkalmazás kockázata csökkenthető. Az ellentevékenységek sikere alapvetően azon múlik, hogy olyan rendszert állítsunk elő, amely képes megfelelni

²⁰ Husseini (2019) i. m.

a kihívásoknak. Egy ilyen mélységben tagolt rendszerrel sikerülhet a drónokat jogszerűtlenül alkalmazók „előtt járni” technikai szempontból, valamint a kihívásokhoz való alkalmazkodóképesség szempontjából is.

Felhasznált irodalom

- Airportal.hu: *Drónok miatt bénult meg a légiforgalom a London–Gatwick repülőtéren*. 2018. Online: <https://airportal.hu/dronok-miatt-benult-meg-a-legiforgalom-a-london-gatwick-repulo-teren/>
- Azulai, Yuval: *Rafael to sell 6 anti-drone systems to UK for \$20m*. Globes, 2018. Online: <https://en.globes.co.il/en/article-rafael-to-sell-6-anti-drone-systems-to-uk-1001250393>
- COPTRZ: *COPTRZ DDaaS – Drone Detection as a Service*. 2019. Online: www.coptrz.com/aeroscope-dji-drone-detection-system/
- DJI: *DJI Improves Geofencing To Enhance Protection of European Airports and Facilities*. 2019. Online: www.dji.com/ae/newsroom/news/dji-improves-geofencing-to-enhance-protection-of-european-airports-and-facilities
- Gallagher, Sean: *German chancellor's drone "attack" shows the threat of weaponized UAVs*. Ars Technica, 2013. Online: <https://arstechnica.com/information-technology/2013/09/german-chancellors-drone-attack-shows-the-threat-of-weaponized-uavs/>
- Holland Michel, Arthur: *Counter-Drone Systems*. Center for the Study of the Drone at Bard College, 2018. Online: <http://dronecenter.bard.edu/counter-drone-systems/>
- Husseini, Talal: *When drones are used maliciously, can anyone stop them?* Airforce Technology, 2019. Online: www.airforce-technology.com/features/threats-from-small-drones/
- Interpol: *Drone technology: security threats and benefits for police focus of INTERPOL forum*. 2018. Online: www.interpol.int/en/News-and-Events/News/2018/Drone-technology-security-threats-and-benefits-for-police-focus-of-INTERPOL-forum
- Miasnikov, Eugene: *Threat of Terrorism Using Unmanned Aerial Vehicles: Technical Aspects*. Moscow, Center for Arms Control, Energy and Environmental Studies, Moscow Institute of Physics and Technology, 2005. Online: www.armscontrol.ru/UAV/UAV-report.pdf
- PA Media: *Passenger plane in near-miss with drone at Gatwick airport*. *The Guardian*, 2019. Online: www.theguardian.com/uk-news/2019/aug/28/passenger-plane-near-miss-drone-gatwick-airport
- Ripley, Will: *Drone with radioactive material found on Japanese Prime Minister's roof*. CNN, 2015. Online: <https://edition.cnn.com/2015/04/22/asia/japan-prime-minister-rooftop-drone>
- Safi, Michael – Graeme Wearden: *Everything you need to know about the Saudi Arabia oil attacks*. *The Guardian*, 2019. Online: www.theguardian.com/world/2019/sep/16/saudi-arabia-oil-attacks-everything-you-need-to-know?fbclid=IwAR1Jnh3IDtR-Zn3_Hp3yYQWnoKmp8248E7W2IElFnt2CghBm4zgkwlqqol
- Shear, Michael D. – Michael S. Schmidt: *White House Drone Crash Described as a U.S. Worker's Drunken Lark*. *The New York Times*, 2015. Online: www.nytimes.com/2015/01/28/us/white-house-drone.html?_r=0



Békési Bertold¹ – Gajdács László² – Sári János³

Repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer

A cikkben a szerzők bemutatják a repüléskoordináló és -optimalizáló rendszert. Rövid bevezetést követően bemutatjuk az FMS funkcióit, felépítését. Ismertetjük a rendszer elemeit, típusait, valamint azok alapvető működését is. Célunk egy átfogó, könnyen megérthető összefoglaló elkészítése a repüléskoordináló és -optimalizáló rendszerről.

Kulcsszavak: FMS, FMC, CDU, VNAV, LNAV

Flight Management System

In this article the authors introduce the Flight Management System (FMS). After a short introduction, the functions and structure of the FMS are presented. Then we describe the elements and types of the system, as well as their basic operation. Our goal is to provide a comprehensive, easy-to-understand summary of the flight management systems.

Keywords: FMS, FMC, CDU, VNAV, LNAV

1. Bevezetés

Míg a világ légi forgalma folyamatosan növekszik, az érintett felek, különösen a repülőgép-üzemeltetők, számos kihívással néznek szembe. Mára már a legtöbb ember számára nem ismeretlen tevékenység a légi járművek alkalmazása, használata tömegközlekedés, valamint eszközök szállításának céljából. Az ilyen célokra való megfelelés az évek elteltével folyamatosan szorgalmazta a nagyobb hatótávolsággal, teherbírással és mérettel rendelkező repülőgépek megjelenését. Ezeknek a légi járműveknek a kezelésére már nem volt elegendő a pilótafülkében a pilóta mellett dolgozó rádiókezelő, fedélzeti mérnök és navigátor, szükséges volt a pontosabban, precízebben dolgozó számítógépek beépítése. A pilótára fokozatosan nagyobb felelősség hárult a légi járművek biztonságos kezelésénél, valamint azok költséghatékony

¹ Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék, e-mail: bekesi.bertold@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5709-789X>

² Tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék, e-mail: gajdacslaszlo@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2334-6859>

³ BSc-hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék, e-mail: sari.janos1999@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8861-3300>

üzemeltetését sem tudták megfelelően elvégezni. Az előbb említett két tényező, illetve probléma megoldásának érdekében, hogy csökkentsék a pilóták leterheltségét és növeljék a költséghatékonyságot, olyan korszerű digitális fedélzeti műszerek és intelligens berendezések kidolgozása volt nélkülözhetetlen, amelyek integrálják azokat a rendszereket, amelyek a repülés végrehajtását segítik. Így született meg a repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer (FMS).⁴ Ez voltaképpen a pilóta és a repülőgép közötti interfész. Működés szempontjából az FMS együtt dolgozik a robotpilótával, illetve a pályavezérlő rendszerrel (FDS),⁵ ezzel segítve az eredményesebb végrehajtást. Ilyen rendszereket alkalmaznak például a Boeing 737-es, valamint az Airbus A320-as repülőgépeken.⁶

2. Az FMS funkciói és képességei

Az FMS-nek az Aeronautical Radio Incorporated (ARINC)⁷ előírása szerint hét darab funkcióval kell rendelkeznie:

- navigáció;
- repüléstervezés;
- LNAV;⁸
- VNAV;⁹
- teljesítményszámítás/-szabályozás;
- adatkapcsolat;
- mozgási pálya előrejelzés.

Ezeket a funkciókat a navigációs és a teljesítmény-adatbázisok támogatják (lásd 1. ábra). Az FMS képes 4 dimenziós navigálásra (szélesség, hosszúság, magasság, idő), miközben optimalizálja a teljesítményt a lehető leggazdaságosabb módon.¹⁰

⁴ FMS (Flight Management System): Repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer.

⁵ FDS (*Flight Director System*): Pályavezérlő rendszer.

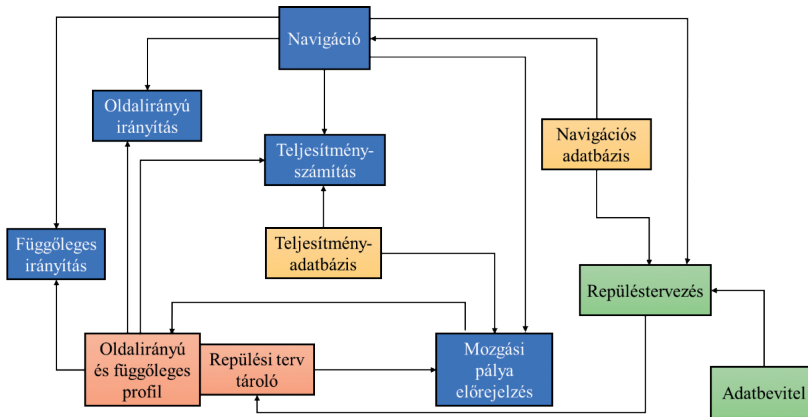
⁶ AviationFocus: *Flight Management System (FMS) Training*. é. n.; Ferenczi István – Ferenczi Ildikó – Szilágyi Dénes: *Légi járművek fedélzeti rendszerei*. Nyíregyházi Egyetem, 2018. 9–30.; Jim Sparks: *Flight Management Systems*, AviationPros, 2006.

⁷ ARINC (*Aeronautical Radio Incorporated*): Konszenzusos technikai sztenderdeket hoztak létre, amelyeket világszerte ARINC Standards néven ismernek. Az ARINC-szabványok és együttműködési megoldások javítják a költséghatékonyságot, növelik a termelékenységet és csökkentik az életciklus költségeit a légitársaságok számára az avionikában. ARINC Industry Activities: *About Aviation Committees*. é. n.

⁸ LNAV (*Lateral Navigation/Guidance*): oldalirányú/laterális navigáció/irányítás. Ahogy az elnevezésből is következik, oldalirányú megközelítést nyújt. Az LNAV minimumai lehetővé teszik az előírt minimális süllyedési magasságig való ereszkedést. *Flight Literacy: LNAV/VNAV and LPV*. é. n.

⁹ VNAV (*Vertical Navigation/Guidance*): függőleges/vertikális irányú navigáció/irányítás. Egy olyan robotpilóta-funkció, amely lehetővé teszi a rendszer számára, hogy beállítsa a repülőgép függőleges sebességét, hogy megfeleljen egy előre meghatározott magasságnak egy bizonyos útponton. Továbbá kiszámítja a kívánt emelkedési, süllyedési sebességet, amit a körülmények változásával képes módosítani, feltéve, ha a repülési tervben szerepel legalább egy magasságkorlátozással rendelkező útpont. *Infinite Flight: Vertical Navigation (VNAV)*. é. n.

¹⁰ Jonas Schulze: *Architectural Design of a Future Flight Management System Supporting 4D Trajectories*. M.Sc. Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2018; Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.; Amaro Carmona, Manuel Angel – Darius Rudinskas, Cristina Barrado: Design of a flight management system to support four-dimensional trajectories. *Aviation*, 19. (2015), 1. 58–65.; John Croft: *FARNBOROUGH: NextGen flight management system: masterminding the cockpit*. Flight Global, 2010.



1. ábra

FMS funkciói. Forrás: Randy Walter: Flight Management System. Cary R. Spitzer (ed.): *The Avionics Handbook*. Boca Raton, CRC Press, 2001. Figure 15.2 alapján dr. Békési Bertold szerkesztése

2.1. Az FMS felépítése

A repüléskoordináló és -optimalizáló rendszert két fő egységre oszthatjuk:

- Flight Management Computer (FMC) – repülésvezérlő-optimalizáló számítógép;
- Multi Function Control and Display Unit (MCDU) – multifunkciós vezérlő- és kijelző-egység.¹¹

Az FMS nem egy önállóan működő rendszer. A bonyolult feladatok ellátását számos más egység kooperációjával hajtja végre. Ezek a következők:

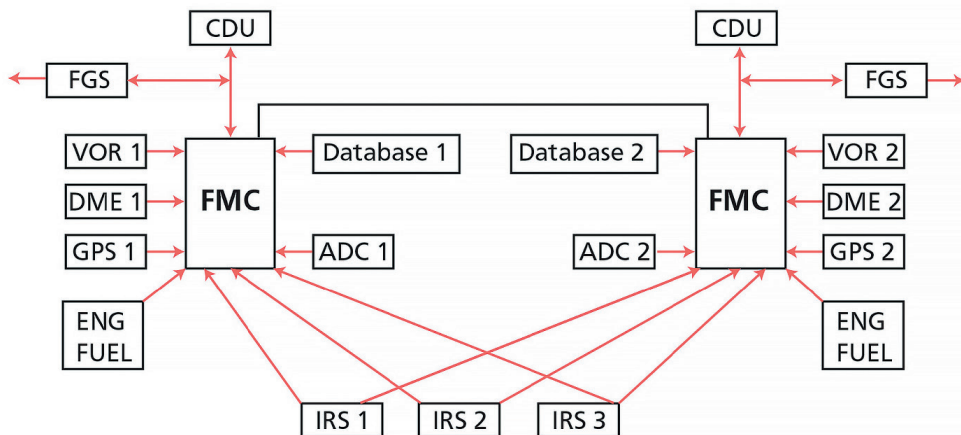
- Autopilot/Flight Director System (AFDS) – robotpilóta/pályavezérlő rendszer;
- Autothrottle System (A/T) – automatikus tolóerő-szabályozó rendszer;
- Inertial Reference System (IRS) – inerciális vonatkoztatási rendszer (tehetetlenségi-referencia-rendszer);
- Flight Guidance System (FGS) – repülésirányítási rendszer;
- Distance Measuring Equipment (DME) – távolságmérő berendezés;
- Air Data Computer (ADC) – levegőjelek számítógégsége;
- Global Positioning System (GPS) – globális helymeghatározó rendszer;
- VHF¹² Omni-directional Radio Range (VOR¹³) – URH-tartományú körsugárzó rádióirányadó.¹⁴

¹¹ Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.

¹² VHF (Very High Frequency): Ultrarövidhullám (URH). A rádióhullámok 30 MHz-től 300 MHz-ig terjedő skáláját jelenti.

¹³ VOR (Very High Frequency Omni-directional Radio Range): Ultrarövidhullámú körsugárzó adóberendezés (URH-tartományú körsugárzó rádióirányadó).

¹⁴ CAE Oxford Aviation Academy: Instrumentation, ATPL Ground Training Series, United Kingdom, 2014. 269–278.; Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.; Jeppesen GmbH: Joint Aviation Authorities Airline Transport Pilot's Licence, Theoretical Knowledge Manual, Aircraft General Knowledge 4, 022 Instrumentation, Second Edition, First Impression, Frankfurt, Germany, 2001, Chapter 21; Sparks (2006) i. m.



2. ábra

Példa az FMS-architektúrára. Forrás: CAE Oxford Aviation Academy: Instrumentation, ATPL Ground Training Series, United Kingdom, 2014. Figure 21.1

Mint ahogy az a 2. ábrán is látható, a rendszer központi eleme a repüléskoordináló számítógép. Természetesen a repülésbiztonság érdekében az FMC számos rutinfeladatot és számítást végez el a repülőgép-vezető helyett, de a működés helyességét a személyzet bizonyos rendszerességgel ellenőrzi.¹⁵

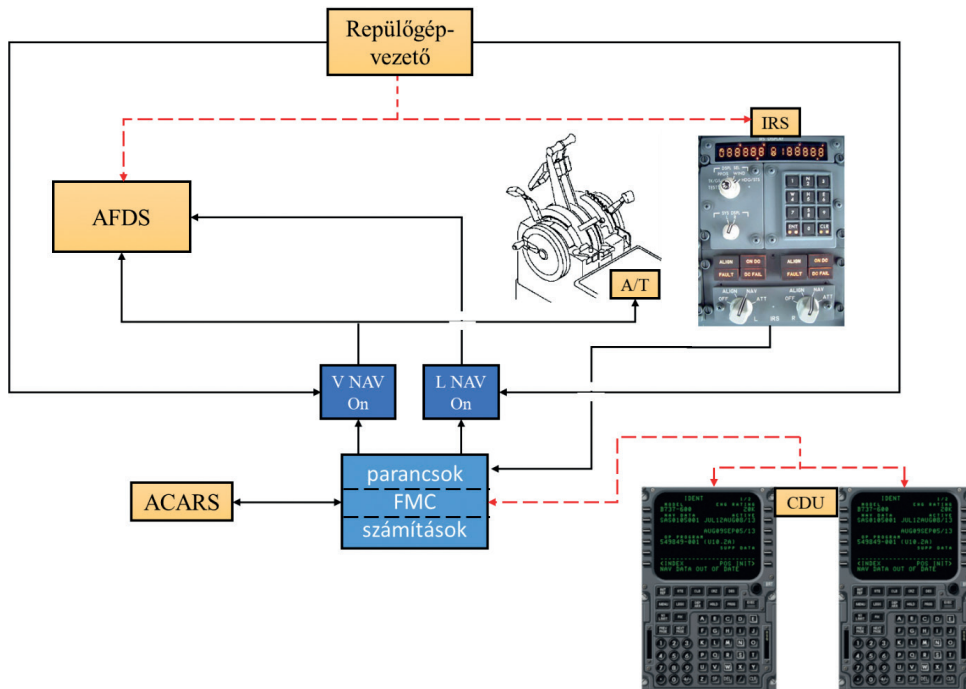
2.2. Az FMS működése

A repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer kezelése a CDU¹⁶-n keresztül történik. Használatával lehet betáplálni a megfelelő repülési és teljesítményadatokat a repüléskoordináló számítógépbe. A bevitt követően a számítógép által elvégzett számítások megjelennek a vezérlőegység kijelzőjén, így azt a személyzet könnyedén leellenőrizheti. Az oldalirányú, illetve a függőleges irányú FMC-parancsokat is a CDU-n keresztül lehet a robotpilóta/pálya-vezérlő-rendszer, valamint az automatikus tolóerő-szabályozó rendszere felé továbbítani. Mindemellett az IRS és különféle szenzorok egyéb más információkkal látják el a számítógépet. A repülőgép földdel való összeköttetését szintén a CDU biztosítja az ACARS¹⁷-rendszer segítségével. Abban az esetben, ha a rádió navigációs jelek nem állnak rendelkezésre, az FMS a tehetetlenségi referenciarendszert használja a helyzet-meghatározáshoz. Természetesen ilyen esetben az FMC automatikusan javítja, korrigálja az IRS-től kapott adatokat, értékeket a lehető legnagyobb pontosság érdekében. Mindezek mellett üzenet jelenik meg a pilóta számára, figyelmeztetve a kisebb precizításra.

¹⁵ Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.

¹⁶ CDU (Control and Display Unit): Vezérlő- és kijelzőegység

¹⁷ ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System): Digitális adatkapcsolati rendszer, amelynek protokollját az ARINC cég dolgozta ki. Az ACARS üzeneteknek három fő csoportja van: Air Traffic Control üzenetek, Airline Administrative Control, Aeronautical Operational Control. BME: 8. előadás – ATN és a CPDLC. é. n.



3. ábra

Az FMS integrációja. Forrás: *Instrumentation*. Sandefjord, Nordian AS, 2010. Fig. 7.1; <https://digilander.libero.it/andreathrone/Throttles.gif>; Boeing 737 IRS display. alapján dr. Békési Bertold szerkesztése

Az automatizáció mértékét a személyzet határozhatja meg. Így tehát lehetőség van csak CDU, vagy csak FMS által irányított repülésre, illetve használható a hagyományos robotpilóta-funkció is. Tehát használhatjuk csak CDU-val történő repülésnél, mint egy adatkijelző referenciaként a kézi repülés során (tanácsadói szerep),¹⁸ vagy hagyományos robotpilóta-funkcióként, vagy teljes FMS-művelet kiválasztását automatikus repülésiútvonali-irányítással és teljesítményszabályozással (repüléskoordináló és -optimalizáló szerep).¹⁹

A teljes FMS-üzemeltetés mellett is a repülőgép irányítása és kezelése mindig a hajózószemélyzet feladata marad és teljes ellenőrzésük alatt áll.

Bizonyos funkciókat csak a repülőgép-vezetők tudnak megvalósítani, például: kezdeti gázadás, felszállás, magasság kiválasztása, ILS lehangolása, repülőgép-konfiguráció és kigurulás leszállás után. A hajózószemélyzetnek további fontos feladata, hogy figyelemmel kell kísérnie az FMC navigációját a repülés során annak biztosítására, hogy a kívánt repülési útvonalat az automatikus rendszerek pontosan követik, nem térnek-e el a kívánt repülési pályától.²⁰

A tanácsadói szerep egy másodlagos funkció. Ebben a szerepkörben megfelelő pilótafülke-kijelzőket táplál, például térképet (tájékoztatóhoz) és hibákat vagy céladatokat szolgáltat

¹⁸ Advisory role.

¹⁹ Flight management role.

²⁰ CAE Oxford Aviation Academy, *Instrumentation*. i. m.; Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.; Flight Literacy: *Flight Management System (FMS)*. é. n.; Jeppesen *Joint Aviation Authorities ...* i. m. (14. lj.); Sparks (2006) i. m.

a pontos repülési profilok kézi repüléséhez. Így ebben az üzemmódban a rendszer az optimális teljesítmény elérése érdekében tanácsokat is ad a hajózásszemélyzetnek a beállításokról. A legtöbb korai FMS-egység erre a szerepre korlátozódott.

A repüléskoordináló és -optimalizáló szerepkörben az FMS összeköttetésben áll a hajtómű-teljesítmény-vezérlő rendszerrel (PMC)²¹ és az automatikus repülésvezérlő rendszerrel (AFCS).²²

Ez kizárja a hajózásszemélyzetet a vezérlési körfolyamatból és lehetővé teszi az FMS számára, hogy teljesen integrált módon járjon el, biztosítva a motor teljesítményének és a teljes repülésiútvonal-vezérlés optimális szabályozását.

A modern FMS-egységek mind a két fentebb említett szerepkört betölthetik, azonban az elsődleges funkcióik a következők kezelése: repülőgépteljesítmény-szabályozás; repüléstervezés; navigáció; három dimenziós vezérlés.²³

2.3. Vezérlő- és kijelzőegység

Az előzőekben már részlegesen említettük a CDU elsődleges feladatát, valamint alapvető használatát. Ellenben úgy gondoljuk, hogy szükséges e rendszerem bővebb bemutatása, ismertetése a témakör jobb megértése érdekében.



4. ábra

CDU megvalósítása (Boeing 737-600). Forrás: CAE Oxford Aviation Academy, Instrumentation. i. m. alapján dr. Békési Bertold szerkesztése

²¹ Power Management Control.

²² Automatic Flight Control System.

²³ Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.; Instrumentation. Nordan AS, Sandefjord, 2010.

Általában kettő darab CDU-t szoktak felszerelni a középkonzol mindkét oldalára úgy, hogy a bal oldali (repülési irány szerint) javarészt a „master” (a Boeing 747-en egy harmadik CDU-t is elhelyeztek a középkonzolon, amit elsősorban a mérnöki személyzet használ). Ezek egy monokróm vagy színes katódugárcsöves (CRT) kijelzőt tartalmaznak, amelyen a kiválasztott „oldal” adatai jeleníthetők meg (lásd 4. ábra).

Az ábrán látható, hogy az alfanumerikus CRT-képernyő uralja az egység felső részét. Az alsó része billentyűzettel rendelkezik, amelynek segítségével a hajózárszemélyzet beírhatja a kívánt függőleges és oldalirányú repülési terv adatait az FMC-be. A CDU részei és azok egyedi funkciói a következők:

- 1 – Oldal címe:²⁴ A megjelenített adatok típusát jelzi. Oldalsó vagy függőleges navigációs módban az ACT vagy a MOD felirat jelenik meg, jelezve az oldal állapotát.
- 2 – Üzenet jelzés:²⁵ fehér színnel világító figyelmeztető, tanácsadó vagy függőben lévő üzeneteket jelöl.
- 3 – Offset jelzés:²⁶ fehér színnel világít, ha párhuzamos eltolást használnak (azaz a repülőgép párhuzamosan, de rögzített távolságban repül az FMS előre beprogramozott útvonalával).
- 4 – Sorválasztó gombok:²⁷ A képernyő mindkét oldalán hat darab van. Az adatok kiválasztásához vagy beviteléhez a szomszédos sorban meg kell nyomni.
- 5 – Jegyzettömb:²⁸ Ez a kijelző alsó sora, és megjeleníti a sorválasztó gombokkal a rendszer által létrehozott üzeneteket a hajózárszemélyzet számára; minden billentyűzet bejegyzést, mielőtt átkerülne a kívánt sorra; és a sorok vagy oldalak között átvitt adatokat.
- 6 – Kijelző fények:²⁹ fehér színnel világít, ha a megjelenített oldal nem kapcsolódik az aktív repülési terv szakaszához vagy az aktuális működési üzemmóddhoz.
- 7 – Hiba lámpa:³⁰ borostyán színnel világító; világít ha az FMC hibát észlel.

A CDU segítségével a személyzet kinyerheti a tárolt vagy a feldolgozott információkat az FMC-ből, vagy betölthet új vagy friss információkat.

A CDU-k általában három üzemmóddal rendelkeznek: független üzemmód (*Independent mode*); kettős üzemmód (*Dual mode*); szimpla üzemmód (*Single mode*).

Az Independent mode az FMC-k leválasztásával érhető el. Ez a független üzemmód egyáltalán nem szokványos, mivel a két FMC között nem lesz biztonsági, keresztellenőrzés. Dual mode esetén mindkét FMC egymástól függetlenül feldolgozza a pilóta által bevitt adatokat és összehasonlítja az eredményeket annak érdekében, hogy a döntő, létfontosságú értékek konzisztensek (következetesek) legyenek mindkét rendszerben. Ezután ugyanazt a kimenetet továbbítja mindkét FMC-nek. A single mode-ot akkor alkalmazzák, ha az egyik repüléskoordináló

²⁴ Page title.

²⁵ Message light.

²⁶ Offset light.

²⁷ Line select keys.

²⁸ Scratch pad.

²⁹ Display light.

³⁰ Fail light.

számítógép meghibásodott. Természetesen ez az üzemmód csakis akkor valósulhat meg, ha az üzemképes FMC alkalmas az önálló működésre és a hajózószemélyzet igényli ezt.³¹

2.4. CDU üzenetek

A vezérlő- és kijelzőegység (CDU) által kijelzett üzeneteket alapvetően kétféle módon különböztethetjük meg: figyelmeztető és tanácsadói üzenetek. A figyelmeztető üzenetek rendelkeznek a legmagasabb prioritással. Ilyenkor a helyzet felismerése után korrigálni kell az adott problémát, mielőtt folytatódna az FMC által irányított, koordinált repülés. A tanácsadói üzenetek informálják a pilótákat az esetlegesen rosszul bevitt adatról, vagy a rendszer állapotáról.³²

1. táblázat

A kijelző- és vezérlőegység (CDU) billentyűi és azok funkciói. Forrás: CAE Oxford Aviation Academy: Instrumentation, ATPL Ground Training Series, United Kingdom, 2014. 269–278 alapján Sári János szerkesztése

CLB	CLB (emelkedés) ³³ – az aktuális vagy alternatív emelkedési módot jeleníti meg az értékeléshez és a kiválasztáshoz. Megadható az utazási magasság, valamint a sebesség-/magasságkorlátozás.
CZR	CRZ (utazás) ³⁴ – az aktuális vagy váltakozó sebességtartó módot jeleníti meg az értékeléshez és a kiválasztáshoz. Információt nyújt az optimális magasságról és a turbulenciáról.
DES	DES (süllyedés) ³⁵ – megjeleníti az aktuális vagy alternatív süllyedési módot az értékeléshez és a kiválasztáshoz. Megadható a célsebesség, csakúgy, mint a sebesség-/magasságkorlátozás.
INIT REF	INIT/REF (inicializálás/referencia) ³⁶ – hozzáférést biztosít az FMC és az IRS indításához szükséges „adatoldalakhoz”.
N1 LIMIT	N1 Limit – lehetővé teszi az aktív „N1 limit” kézi vezérlését és az esetlegesen alkalmazható „Reduced Climb N1 Limit” kiválasztását.
MENU	Az „N1 Limit” menü gombként megjelenhet a „master” CDU-n, amin keresztül a felhasználó hozzáférhet a rendszeren belüli adatokhoz.
DEP ARR	DEP/ARR (indulások/érkezések) ³⁷ – az indulási és a célrepülőtér eljárásainak és kifutóinak kiválasztására szolgál.
RTE	RTE (útvonall) ³⁸ – lehetővé teszi a repülési terv adatainak bevitelét.
LEGS	LEGS (útvonall szakaszok) ³⁹ – megjeleníti és elfogadja a repülési terv egyes szakaszaira vonatkozó részletes adatok beírását, a különféle típusú útvonallakra.
HOLD	HOLD – lehetővé teszi a tervezését vagy a megkezdését a „holding” (várakozási eljárás)-nak egy kijelölt útponton.
DIR INTC	DIR/INTC (ráirányítás/elfogás) ⁴⁰ – adatokat biztosít ahhoz, hogy a kívánt, illetve a repülési tervben meghatározott pontokat sikeresen elérjék (rárepülés az adott pontra).
FIX	FIX („fix” információk) ⁴¹ – megjeleníti a tartományt és annak adatait, a repülőgép aktuális pozíciójától az előre rögzített „fix” pontig. Továbbá megkönnyíti a repüléstervezésben használt „fix”-ek létrehozását.

³¹ CAE Oxford Aviation Academy, Instrumentation. i. m.; Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.; Flight Mechanic: Flight Management System (FMS). é. n.; Jeppesen: Joint Aviation Authorities ... i. m.; Sparks (2006) i. m.

³² Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.

³³ Climb.

³⁴ Cruise.

³⁵ Descent.

³⁶ Initialization/reference.

³⁷ Departures/arrivals.

³⁸ Route.

³⁹ Route legs.

⁴⁰ Direct/intercept.

⁴¹ Fix information.

PROG	PROG (repülés folyamata) ⁴² – megjeleníti az aktuális repülési állapotinformációkat, mint például a hátralévő üzemanyag-mennyiséget, a navigációs rádióhangelés állapotát és az útvonalon keletkezett hibákat.
EXEC	EXEC (végrehajtás) ⁴³ – akkor működtethető, ha annak jelzősávja világít. A repülési terv aktiválására, az aktív repülési terv megváltoztatására, az aktív irányítási mód megváltoztatására vagy az aktív repülési tervet, irányítási módot vagy adatbázist befolyásoló információk bevitelére szolgál.
+/-	Jelkulcs módosítása – képes megváltoztatni az adatokat a jegyzettömbben (scratch pad) pozitívról negatívra és vissza. Továbbá kötőjel beszúrására is használható a speciális adatbevitelhez.
NEXT PAGE	Oldalváltó gombok – ha több oldalas kijelző jelenik meg, a „NEXT PAGE” gomb megnyomásával a kijelző a következő „magasabb” oldalszámra lép.
PREV PAGE	A PREV PAGE megnyomásával a kezelő visszamehet az előző „alacsonyabb” oldalszámra.
CLR	„Clear” gomb ⁴⁴ – a „scratch pad” tartalmát a CLR billentyű megnyomásával lehet szerkeszteni vagy törölni, attól függően, hogy a gombot mennyi ideig tartja lenyomva a kezelő. Továbbá a CLR arra is használható, hogy figyelmeztető üzeneteket töröljön a „scratch pad”-ről.
DEL	„Delete” gomb ⁴⁵ – a törlés (DEL) gomb arra szolgál, hogy adatokat távolítson el a kijelzőről (és így egy repülési tervről), miután azokat kijelölte és elfogadta egy adatmezőben. Természetesen a rendszer megakadályozza a DEL érvénytelen használatát.

2.5. FMC adatbázis

A személyzet a CDU segítségével kinyerheti a tárolt vagy a feldolgozott információkat az FMC-ből, illetve betöltheti az új vagy friss adatokat. Ez az adatbázis két külön részre van felosztva. Az egyik a teljesítménnyel kapcsolatos információkat, a másik pedig a navigációval kapcsolatos információkat tartalmazza.

A teljesítmény-adatbázis lehetővé teszi a hajózsémélyzet számára a Cruise Control Manual⁴⁶ nélkülözését repülés közben, illetve információkat szolgáltat az FMC számára a szükséges számítások elvégzéséhez. Az adatbázisban tárolt adatok tartalmazzák a repülőgép ellenállását, aerodinamikai tulajdonságait, valamint a hajtómű jellemzőit, paramétereit (például üzemanyag-fogyasztás, tolóerő, határértékek, turbulencia esetén használatos üzemeltetési értékek). Az üzembentartók újrakalkulálhatják az egyes repülőgépek adatbázisát az ellenállás és az üzemanyag-áramlás tényezőinek megadásával.

Az FMC navigációs adatbázis tartalmazza a legtöbb információt. Ezeket általában navigációs táblázatokra hivatkozva határozzák meg. A tárolt információk tartalmazzák a navigációs segédeszközök (például azonosító, pozíció, frekvencia, típus), repülőterek (például 4 betűs ICAO-azonosító, pozíció, tengerszint feletti magasság), fel- és leszállópályák (például szám, hossz, FAF⁴⁷) és egyéb, a légitársaság által kiválasztott adatokat (például SID,⁴⁸ STAR⁴⁹). Továbbá raktározza a vállalati, céges útvonalak, az útvonali légi folyosók és az útvonalpontok adatait is. Az FMC két navigációs adatsort tartalmaz, amelyek mindegyike 28 napig érvényes.

⁴² Flight progress.

⁴³ Execute.

⁴⁴ Clear key.

⁴⁵ Delete key.

⁴⁶ Cruise Control Manual: Hajózási Kezelési Kézikönyv.

⁴⁷ FAF (*Final Approach Fix*): Végső megközelítés pontja. A nem precíziós műszeres megközelítés meghatározott pontja, amely meghatározza a végső szakasz kezdetét. Jeppesen: Joint Aviation Authorities ... i. m.

⁴⁸ SID (*Standard Instrument Departure*): Sztenderd műszeres elindulás.

⁴⁹ STAR (*Standard Terminal Arrival*): Sztenderd terminál érkezés

Repülés előtti ellenőrzés közben a hajózószemélyzet kiválaszthatja, melyik készlet aktív. Ezután az FMC az aktív készletet használja a navigációs számításokhoz.⁵⁰

2.6. VNAV

A „tökéletes” felszállási, leszállási szög és sebesség nagyban befolyásolja egy repülőgép maximális hatótávolságát. Ennek elérését hivatott segíteni a VNAV (függőleges irányú navigáció) üzemmód. A VNAV mód akkor kapcsol be, ha a teljesítménybeállítás a felszálló-teljesítményhez képest megváltozik, valamint, ha az MCP⁵¹-n található magasság nagyobb, mint a légi jármű pillanatnyi magassága.

Aktív VNAV esetén az MCP-n beállítható az elérni kívánt magasság, azonban ha ezt a repülőgép hamarabb eléri, mint az FMC szerinti utazómagasságot, a VNAV mód lekapcsol. Az FMC által alapul vett VNAV egy olyan emelkedési profil, amely megtartva az összes sebességet és magasságkorlátot vezeti a gépet a megadott tengerszint feletti magassáig. Ezután átvált az emelkedéshez előírt gazdaságos sebességre, amíg el nem éri az utazómagasságot. Ezen a magasságon a süllyedés megkezdésének pillanatáig optimalizált, gazdaságos teljesítménybeállítást használ. Ha a repülésnél az emelkedési profil valamilyen magassági korlátozás megsértését okozná, megjelenik az „UNABLE NEXT ALT” üzenet. Ilyenkor a pilótának manuálisan egy másik sebességet kell választania az FMS-CDU-n, amely meredekebb emelkedési szöveget biztosít.

Süllyedésnél amint az E/D⁵² pontot betáplálják, az FMC kiszámolja az ereszkedési pályát. A süllyedési profil minden esetben a TOD⁵³-ban indul. Természetesen a kalkulált profilnak meg kell felelnie a magassági és egyéb korlátozásoknak. Ha az MCP-n betáplált magasságot hamarabb eléri a légi jármű, a VNAV lekapcsol. Süllyedésnél gyakorta alkalmaznak automatikus tolóerő-vezérlő rendszert is a nagyobb pontosság érdekében. Ennek elmulasztásánál a „THRUST REQUIRED” üzenet jelenik meg a CDU-n. Hátszél esetén „DRAG REQUIRED” figyelmeztetést küld a rendszer a hajózó állomány számára.⁵⁴

2.7. LNAV

Az LNAV (magyarul: oldalirányú/laterális navigáció) támogatásának köszönhetően lehetséges a gömbi főkörön két útvonalpont között repülést végrehajtani. Ugyanakkor, ha az FMS adatbázisban tárolt eljárás bevitelre kerül az aktív útvonalba, az FMC parancsokat adhat

⁵⁰ CAE Oxford Aviation Academy, Instrumentation. i. m.; Jeppesen: Joint Aviation Authorities ... i. m.; Sparks (2006) i. m.

⁵¹ MCP (*Mode Control Panel*): Üzem mód-szabályozó.

⁵² E/D (*End of Descent*): Süllyedés vége. Olyan állandó magasság, amelyet útvonali pontként szokás betáplálni, annak érdekében, hogy a számítógép tudjon süllyedési profilt számolni. Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.

⁵³ TOD (*Top of Descent*): Süllyedés kezdeti pontja.

⁵⁴ CAE Oxford Aviation Academy, Instrumentation. i. m.; Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.; Flight Literacy: LNAV/VNAV and LPV i. m.; Infinite Flight: *Vertical Navigation (VNAV)* i. m.; Jeppesen: Joint Aviation Authorities ... i. m.; Sparks (2006) i. m.

egy állandó irány, sáv vagy DME⁵⁵ ív követésére. Az FMC meghatározza a repülőgép aktuális helyzetét az IRS/INS,⁵⁶ DME, VOR felhasználásával, valamint egyéb navigációs rendszerek (*localiser*) segítségével. Ezt a számított helyzetet felhasználva laterális kormányparancsokat generál az aktív útvonalpontig. Amíg a repülőgép a fel- és leszállópályák, földön tartózkodik, az FMC az aktuális pozíciót csak az IRS/INS-től vagy a GNSS⁵⁷-rendszerrel kapott információk alapján számítja ki. Működéséhez az FMC legalább egy IRS/INS-től igényel helyzetinformációt. Az FMC pillanatnyi helyzete általában az összes IRS/INS pozíció kombinációja. Mivel az IRS az idő függvényében változik, tehát fokozatosan egyre pontatlanabbá válik, az FMC is egyre inkább pontatlan lesz repülés közben. Ezek a helyzet-, illetve pozícióhibák a HSI⁵⁸-vel figyelhetők meg. Ezt az IRS újrapályázásával lehet megoldani.⁵⁹

3. Befejező gondolatok

A mai FMS-rendszerek fő problémája, hogy feladatok sokaságát kell elvégezniük a repülésbiztonság megsértése nélkül. Ezeknek a feladatoknak az összetettsége következtében a támogató szoftver is egyre komplexebbé vált, amelynek kivitelezése egyre bonyolultabb és költségesebb. Habár folyamatosan zajlanak a fejlesztések, az előbb említett problémák kiküszöbölésére jelenleg sincsen kiemelkedő alternatíva. Hiszük, hogy a technológia gyors fejlődésének köszönhetően pár éven belül kivitelezhetővé válik a megoldás.

Felhasznált irodalom

- Amaro Carmona, Manuel Angel – Darius Rudinskas – Cristina Barrado: Design of a flight management system to support four-dimensional trajectories. *Aviation*, 19. (2015), 1. 58–65. Online: <https://doi.org/10.3846/16487788.2015.1015284>
- ARINC Industry Activities: *About Aviation Committees*. é. n. Online: www.aviation-ia.com/about-us
- AviationFocus: *Flight Management System (FMS) Training*. é.n. Online: www.aviationfocus.aero/flight-management-system-fms-training/
- BME: 8. előadás – ATN és a CPDLC. é. n. Online: http://kjit.bme.hu/images/stories/targyak/LEGIR2/II_8_ea_ATN_CPDLC_2015_16_MU.pdf
- Boeing 737 IRS display. Online: www.b737.org.uk/images/irspanel.jpg
- Croft, John: *FARNBOROUGH: NextGen flight management system: masterminding the cockpit*. Flight Global, 2010. Online: www.flightglobal.com/farnborough-nextgen-flight-management-system-masterminding-the-cockpit/94331.article

⁵⁵ DME (*Distance Measuring Equipment*): Távmérő berendezés. Egy olyan navigációs berendezés, amely a repülőgép és a földi állomás közötti távolságot méri.

⁵⁶ IRS/INS (*Inertial Reference System/Inertial Navigation System*): Inerciális vonatkoztatási rendszer (tehetetlenségireferencia-rendszer) / Inerciális navigációs rendszer (giroszkóp).

⁵⁷ GNSS (*Global Navigation Satellite System*): Globális helymeghatározó műholdrendszer.

⁵⁸ HSI (*Horizontal Situation Indicator*): Műhorizont.

⁵⁹ CAE Oxford Aviation Academy, Instrumentation. i. m.; Ferenczi–Ferenczi–Szilágyi (2018) i. m.; Jeppesen: Joint Aviation Authorities ... i. m.

- Ferenczi István – Ferenczi Ildikó – Szilágyi Dénes: *Légi járművek fedélzeti rendszerei*. Nyíregyházi Egyetem, 2018.
- Flight Literacy: *Flight Management System (FMS)*. é. n. Online: www.flightliteracy.com/flight-management-systems-fms-2/
- Flight Literacy: *LNAV/VNAV and LPV*. é. n. Online: www.flightliteracy.com/lnav-lnav-vnav-and-lpv/
- Flight Mechanic: *Flight Management System (FMS)*. é. n. Online: www.flight-mechanic.com/flight-management-system-fms/
- Infinite Flight: *Vertical Navigation (VNAV)*. é.n. Online: [https://infiniteflight.com/guide/flying-guide/descent-to-landing/vertical-navigation-\(vnav\)#what-is-vnav%3F](https://infiniteflight.com/guide/flying-guide/descent-to-landing/vertical-navigation-(vnav)#what-is-vnav%3F)
- Instrumentation*. Sandefjord, Nordian AS, 2010.
- Instrumentation ATPL Ground Training Series*. CAE Oxford Aviation Academy, 2014. 269–278.
- Jeppesen GmbH: Joint Aviation Authorities Airline Transport Pilot's Licence, Theoretical Knowledge Manual, Aircraft General Knowledge 4, 022 Instrumentation, Second Edition, First Impression, Frankfurt, Germany, 2001, Chapter 21.
- Sparks, Jim: *Flight Management Systems*. AviatonPros, 2006. Online: www.aviationpros.com/home/article/10383545/flight-management-systems
- Schulze, Jonas: *Architectural Design of a Future Flight Management System Supporting 4D Trajectories*. M.Sc. Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2018. Online: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/8386/1/DissertationSchulze.pdf>
- Walter, Randy: Flight Management Systems. In Cary R. Spitzer (ed.): *The Avionics Handbook*. Boca Raton, CRC Press, 2001. 265–289. Online: <https://avocado82.files.wordpress.com/2011/06/avionics-handbook.pdf>



Tartalom

BÉKÉSI BERTOLD – SERES JÓZSEF: <i>Drónok alkalmazásának lehetőségei</i>	5
VARGA BÉLA: <i>Katonai helikopterek múltja, jelene és jövője</i>	21
SZALKAI ISTVÁN – ERCSEY TAMÁS ZSOLT – SZÉP KÁROLY: <i>A pilóta nélküli légi járművek jövőbeli alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata</i>	39
DUDÁS ZOLTÁN: <i>A leggyakoribb hibák a légi közlekedésben – A Piszkos Tizenkettő</i>	51
SZÜCS PÉTER: <i>Gondolatok a légierő szervezeti és katonai vezetői kultúrájáról a Magyar Honvédségben</i>	61
BARTA GÁBOR – VARGA BÉLA: <i>Az Arriel 2E turboshaft hajtómű termikus elemzése</i>	69
MAKKAY IMRE – TAKÁCS SÁNDOR – WILLAND PÉTER: <i>Meteorológiai szenzorok alkalmazása a kisgépes repülésben</i>	83
SÁRI JÁNOS – BENEDA KÁROLY – KAVAS LÁSZLÓ: <i>Repülőgép-hajtóművek égéstereinek áramlástani vizsgálata számítógépes szimulációban</i>	93
NOVOSZÁTH PÉTER – SZILÁGYI BALÁZS: <i>A tengerentúli járatok jelentősége a közép-európai regionális repülőterek fejlesztésében</i>	105
FÜLEKY ANDRÁS: <i>Gondolatok a repülőgép-vezetőket érő pszichés terhelések hátteréről</i>	125
DUDÁS ZOLTÁN – UJVÁRI BENCE: <i>A drónelhárítás módszerei és lehetőségei</i>	135
BÉKÉSI BERTOLD – GAJDÁCS LÁSZLÓ – SÁRI JÁNOS: <i>Repüléskoordináló és -optimalizáló rendszer</i>	143