



REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK



XXIX. évfolyam
2017. 3. szám

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

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

**Online kiadás
HU ISSN 1789-770X
Nyomtatott kiadás
HU ISSN 1417-0604**

IMPRESSZUM

Szerkesztőbizottság elnöke:

Prof. Dr. Óvári Gyula ny. ezredes, CSc
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service

Szerkesztőbizottság elnökhelyettese:

Dr. Békési Bertold alezredes, PhD
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service

Főszerkesztő:

Dr. Békési Bertold alezredes, PhD
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service

Szerkesztő és webszerkesztő:

Dr. Szilvássy László alezredes, PhD
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service

Szerkesztőbizottság tagjai és egyben rovatvezetők:

Dr. Kavás László alezredes, PhD (Repülőműszaki)
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service
Dr. Békési Bertold alezredes, PhD (Üzemeltetés, karbantartás)
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service
Dr. Palik Mátyás ezredes, PhD (Légiközlekedés, légierő alkalmazás)
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service
Dr. Szilvássy László alezredes, PhD (Multidiszciplináris)
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service
Dr. Dunai Pál alezredes, PhD (Hallgatói)
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service
Dr. Bottyán Zsolt százados, PhD (Repülésmeteorológiai)
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service
Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, CSc (Pilotánélküli repülő-eszközök)

A REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK című folyóirat a NEMZETI KÖZZSOLGÁLATI EGYETEM HADTUDOMÁNYI ÉS HONVÉDTISZTKÉPZŐ KAR KATONAI REPÜLŐ INTÉZET, illetve jogelődjei által alapított folyóiratának jogutódja, a repüléstudomány tematikus kiadványa.

A folyóirat célja lehetőséget teremteni a kutatók, az oktatók, doktori, valamint a mester- és alapképzésben résztvevő hallgatók kutatási eredményeik közzétételére a repüléstudomány-, illetve az ehhez kapcsolódó területeken.

MEGJELENÉS

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

Kiadó:

Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet
Kiadásért felelős: Dr. Palik Mátyás ezredes, PhD
Szerkesztőség címe: 5008 Szolnok, Kilián út 1.
Levelezési cím: NKE Repüléstudományi Közlemények 5008 Szolnok, Pf.: 1.
Telefon: +36-56-510-535
e-mail: RepTudKozl@uni-nke.hu
HU ISSN 1789-770X (Online)

HU ISSN 1417-0604 (Nyomtatott)

Borítón található fényképet Dr. Toperczer István készítette

TARTALOM

Ondrék József A hatnapos háború előzményei a légierők szempontjából	7
Ondrék József A fókusz hadművelet: légi események a hatnapos háború első napján	27
Körmöczi Andor, Horváth Gábor, Vass Csaba, Geretovszky Zsolt A repülőgépiparban használható akkumulátor cellák és azok kötései	39
Balajti István Air Surveillance Radar Antenna Performance Management at Hungarocontrol	55
Horváth Gábor, Körmöczi Andor, Vass Csaba, Geretovszky Zsolt Laser Joining in Aviation: Making the Battery Packs of The Electric Drivetrain	71
Nagy Sándor A természeti és civilizációs veszélyforrások kapcsolata a lakoss�gv�delemmel, a drónok szerepe a hatékony eseménykezelésben	85
Pető Tamás, Seller Rudolf Korszerű passzív radar technikák	95
Stein Vera; Pokorádi László F�aramk�r� egyenáramú motor mérési bizonytalanságának elemzése	105
Kling Fanni, Somosi Vilmos, Pokorádi László, Rohács Dániel Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér légijármű forgalmának elemzése Markov-folyamatokkal	115
Nagy Sándor A lakosságvédelem szempontjából releváns veszélyforrások osztályozása, azok lehetséges kockázatai a légiközlekedésre	127
Foroozan Zare, Árpád Veress Preliminary Introduction to Virtual Prototyping of Jet Engine Components by Means of Aerodynamic Design	141
Bicsák György Hibrid hajt�sl�ncsal rendelkezo pilótanélküli teherszállító légijármű követelményrendszerének felépítése	149

TARTALOM

Sándor Zsolt A pilóta nélküli légi jármű rendszerek forgalmi menedzsmentjét biztosító megoldások információrendszerének modellje	167
Török Ágnes A pilóta nélküli légi járművek légtérbe integrálása	179
Mátyás Palik, Gábor Major, Béla Kiss Migration from a Bird's Eye View	189
Szilvássy László Harci vs. felfegyverzett szállító helikopter	203
Lukács László, Kovács Zoltán, Tóth Rudolf Rombolt repülőterek helyreállításának műszaki feladatai	217
Kling Fanni, Papp Gábor, Rohács Dániel Integrating Human Factors in Real-Time Simulations	233
Varga Béla, Tóth József A széndioxid, mint legfőbb „ellenség”, avagy mi az ICAO által létrehozott „CORSIA” szerepe ebben a harcban	243
Venczel Márk, Bicsák György, Rohács Dániel, Rohács József Hidrogéncella alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata hibrid hajtású kisrepülőgépekhez	253
Sipos Attila A polgári légi jármű jogi státusza	273
Major Gábor A pilóta nélküli légi jármű rendszerek használata az elektronikai hadviselésben	301
Molnár István Tamás, Ailer Piroska, Veress Árpád Hibrid kisrepülőgép propulziós rendszer-elemeinek modellezésére alkalmas módszer kidolgozása	317
Agnes Wangai, Sergey Kinzhikeyev, Jozsef Rohacs, Daniel Rohacs Comparison of Total Lifecycle Emission of Aircraft with Different Propulsion System	337
Szelei Ildikó Gondolatok a vezető mindennapi kihívásairól	349

TARTALOM

SZERZŐK – AUTHORS

<p>Dr. Ailer Piroska főiskolai tanár Neumann János Egyetem GAMF Műszaki és Informatikai Kar Járműtechnológia Tanszék ailer.piroska@uni-neumann.hu orcid.org/0000-0002-5936-8841</p>	<p>Dr. Ailer, Piroska Professor John von Neumann University GAMF Faculty of Engineering and Computer Science Department of Vehicle Technology ailer.piroska@uni-neumann.hu orcid.org/0000-0002-5936-8841</p>
<p>Dr. habil Balajti István CSc Senior Technical Officer / Engineering and Support Section Communications, Air and Missile Defence Programme (LD) NATO Support and Procurement Agency (NSPA) istvan.balajti@nspa.nato.int orcid.org/0000-0003-3566-2904</p>	<p>Dr. István Balajti CSc. Vezető Mérnök / Hírközlési, Légi és Rakétavédelmi Program, Mérnöki Támogató osztály NATO Támogató és Beszerzési Ügynökség istvan.balajti@nspa.nato.int orcid.org/0000-0003-3566-2904</p>
<p>Bicsák György (MSc) tanársegéd Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszék gybicsak@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-3427-3918</p>	<p>Bicsák György (MSc) Assistant lecturer Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics Naval Architecture and Railway Vehicles gybicsak@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-3427-3918</p>
<p>Zare Foroozan PhD hallgató Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék fzare@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-5486-5881</p>	<p>Zare Foroozan PhD Student Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transporting Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautical, Naval Architecture and Railway Vehicles fzare@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-5486-5881</p>
<p>Dr. Geretovszky Zsolt, PhD Egyetemi Docens Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikai Intézet Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék gero@physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-7878-9174</p>	<p>Dr. Geretovszky Zsolt, PhD Associate Professor University of Szeged Faculty of Science and Informatics Institute of Physics Department of Optics and Quantum Electronics gero@physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-7878-9174</p>
<p>Horváth Gábor (MSc) PhD Hallgató Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikai Intézet Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék horvathgabor@titan.physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-6835-4230</p>	<p>Horváth Gábor (MSc) PhD Student University of Szeged Faculty of Science and Informatics Institute of Physics Department of Optics and Quantum Electronics horvathgabor@titan.physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-6835-4230</p>
<p>Kiinzhikeyev Sergey PhD hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék orcid.org/0000-0001-6758-8134</p>	<p>Sergey Kiinzhikeyev PhD student Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles orcid.org/0000-0001-6758-8134</p>

SZERZŐK – AUTHORS

Kiss Béla századparancsnok MH 86 Szolnok Helikopter Bázis kiss.bela1979@freemail.hu orcid.org/0000-0002-6151-5484	Béla Kiss company commander HDF 86th Helicopter Base kiss.bela1979@freemail.hu orcid.org/0000-0002-6151-5484
Kling Fanni szimulációs adatelemző HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt fanni.kling@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0001-7379-9069	Fanni Kling Data Scientist HungaroControl Hungarian Air Navigation Services fanni.kling@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0001-7379-9069
Körmöczi Andor (MSc) PhD Hallgató Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikai Intézet Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék kandor@titan.physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-3917-4636	Körmöczi Andor (MSc) PhD Student University of Szeged Faculty of Science and Informatics Institute of Physics Department of Optics and Quantum Electronics kandor@titan.physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-3917-4636
Kovács Zoltán (PhD) egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar kovacs.zoltan@uni-nke.hu orcid.org/0000-0001-9098-1997	Zoltán Kovács (PhD) Associate professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training kovacs.zoltan@uni-nke.hu orcid.org/0000-0001-9098-1997
Lukács László (CSc) egyetemi tanár Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola llukacs@gmail.com orcid.org/0000-0001-8569-5013	László Lukács (PhD) Professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Doctoral School of Military Engineering llukacs@gmail.com orcid.org/0000-0001-8569-5013
Major Gábor tanársegéd Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Fedélzeti Rendszerek Tanszék major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X	Gábor Major Assistant lecturer National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of On-Board Systems major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X
Molnár István Tamás BSc hallgató Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék mtomi008@icloud.com orcid.org/0000-0002-2373-7051	Molnár, István Tamás BSc student Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transporting Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautical, Naval Architecture and Railway Vehicles mtomi008@icloud.com orcid.org/0000-0002-2373-7051

SZERZŐK – AUTHORS

Nagy Sándor doktorandusz Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola nagy.sandor1975@gmail.com orcid.org/0000-0001-9774-8434	Sandor Nagy PhD student National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training PhD School of Military Engineering nagy.sandor1975@gmail.com orcid.org/0000-0001-9774-8434
Ondrék József Nemzetközi referens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Nemzetközi Kapcsolatok Iroda jozsef.ondrek.89@gmail.com orcid.org/0000-0002-1831-5479	József Ondrék International Officer National University of Public Service International Relations Office jozsef.ondrek.89@gmail.com orcid.org/0000-0002-1831-5479
Palik Mátyás (PhD) intézetigazgató, egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet palik.matyas@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-2304-372X	Palik Mátyás (PhD) Director of institute, associate professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation palik.matyas@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-2304-372X
Papp Gábor Szimuláció és Validáció csoportvezető HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt. gabor.papp@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-5676-9711	Papp Gábor Head of Simulation and Validation Unit HungaroControl Hungarian Air Navigation Services gabor.papp@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-5676-9711
Pető Tamás (MSc) doktorandusz hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki kar Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék Mikrohullámú Távérzékelés Laboratórium peto@hvt.bme.hu orcid.org/0000-0002-4848-9031	Pető Tamás (MSc) PhD student Budapest University of Technology and Economics Faculty of Electrical Engineering Department of Broadband Infocommunications and Electromagnetic Theory Microwave Remote Sensing Laboratory peto@hvt.bme.hu orcid.org/0000-0002-4848-9031
Dr. Pokorádi László, CSc egyetemi tanár Óbudai Egyetem Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0003-2857-1887	Pokorádi László, CSc Full Professor Óbuda University Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0003-2857-1887
Dr. Rohács Dániel, PhD Szakmai Fejlesztési Osztályvezető HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt daniel.rohacs@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417	Dr. Dániel Rohács, PhD Head of Research, Development & Simulation Dept. HungaroControl Hungarian Air Navigation Services daniel.rohacs@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417
Dr. Rohács József (CSc) egyetemi tanár Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszék jrohacs@vrht.bme.hu https://orcid.org/0000-0002-4607-9063	Rohács József (CSc) Professor Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics Naval Architecture and Railway Vehicles jrohacs@vrht.bme.hu https://orcid.org/0000-0002-4607-9063

SZERZŐK – AUTHORS

Sándor Zsolt (PhD.) okleveles közlekedésmérnök, közlekedési szakértő zsolt.sandor1@gmail.com orcid.org/0000-0001-7117-9069	Zsolt Sándor (PhD.) certified traffic engineer, traffic specialist zsolt.sandor1@gmail.com orcid.org/0000-0001-7117-9069
Dr. Seller Rudolf Egyetemi adjunktus Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki kar Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék Mikrohullámú Távérzékelés Laboratórium seller@hvt.bme.hu orcid.org/0000-0003-0573-2684	Dr. Seller Rudolf Senior lecturer Budapest University of Technology and Economics Faculty of Electrical Engineering Department of Broadband Infocommunications and Electromagnetic Theory Microwave Remote Sensing Laboratory seller@hvt.bme.hu orcid.org/0000-0003-0573-2684
Dr. Sipos Attila LL.M. nemzetközi légi- és világűr jog Eötvös Loránd Tudományegyetem Állam- és Jogtudományi Kar siposa5@gmail.com orcid.org/0000-0002-8518-0826	Dr. Attila Sipos LL.M. International air and space law ELTE University Faculty of Law and Political Sciences siposa5@gmail.com orcid.org/0000-0002-8518-0826
Somosi Vilmos FAB program menedzser és polgári-katonai együttműködési koordinátor HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt vilmos.somosi@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-4763-2174	Vilmos Somosi FAB Program manager and civil-military cooperation coordinator HungaroControl Hungarian Air Navigation Services vilmos.somosi@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-4763-2174
Stein Vera mestertanár Óbudai Egyetem Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet Mechatronika Tanszék stein.vera@bgk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0002-8868-1677	Stein Vera assistant Óbuda University Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering Department of Mechatronics stein.vera@bgk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0002-8868-1677
Szelei Ildikó (PhD) Egyetemi docens Nemzeti Közszerződési Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Vezetőképző Intézet Katonai Vezetői és Közismereti Tanszék szelei.ildiko@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-6770-2969	Ildikó Szelei (PhD) Associate professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Military Leadership and General subject szelei.ildiko@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-6770-2969
Dr. Szilvássy László alezredes, egyetemi docens Nemzeti Közszerződési Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Fedélzeti Rendszerek Tanszék szilvassy.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0455-4559	Szilvássy László, PhD Lieutenant Colonel, Associate Professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft Onboard Systems szilvassy.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0455-4559

SZERZŐK – AUTHORS

<p>Török Ágnes (MSc) ügyvezető, okl. közlekedésmérnök, repülésbiztonsági elemző Légtér.hu Kft. trk.agi@gmail.com http://orcid.org/0000-0003-0536-6215</p>	<p>Török Ágnes (MSc) CEO, transportation engineer, safety analyst Légtér.hu Ltd. trk.agi@gmail.com http://orcid.org/0000-0003-0536-6215</p>
<p>Tóth József (MSc, MBA) gyakorlati oktató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék toth.jozsef@uni-nke.hu orcid.org/0000-0001-8647-3404</p>	<p>Tóth József (MSc, MBA) Practical instructor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft and Engine toth.jozsef@uni-nke.hu orcid.org/0000-0001-8647-3404</p>
<p>Tóth Rudolf (PhD) egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola toth.rudolf@chello.hu orcid.org/0000-0002-6013-7899</p>	<p>Rudolf Tóth (PhD) Associate professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Doctoral School of Military Engineering toth.rudolf@chello.hu orcid.org/0000-0002-6013-7899</p>
<p>Varga Béla (PhD) Egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Sárkány-hajtómű Tanszék varga.bela@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-3454-0825</p>	<p>Varga Béla (PhD) Associate professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft and Engine varga.bela@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-3454-0825</p>
<p>Dr. Vass Csaba, PhD Tudományos Munkatárs Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikai Intézet Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék vasscsaba@physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0003-1443-3360</p>	<p>Dr. Vass Csaba, PhD Research Fellow University of Szeged Faculty of Science and Informatics Institute of Physics Department of Optics and Quantum Electronics vasscsaba@physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0003-1443-3360</p>
<p>Venczel Márk (BSc) MSc. hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszék venczelm91@gmail.com orcid.org/0000-0002-4319-1463</p>	<p>Venczel Márk (BSc) MSc. Student Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics Naval Architecture and Railway Vehicles venczelm91@gmail.com orcid.org/0000-0002-4319-1463</p>
<p>Dr. Veress Árpád egyetemi docens Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járómérnöki Kar Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék averess@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-1983-2494</p>	<p>Dr. Veress Árpád Associate Professor Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transporting Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautical, Naval Architecture and Railway Vehicles averess@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-1983-2494</p>

SZERZŐK – AUTHORS

Wangai Agnes

PhD hallgató

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék

orcid.org/0000-0003-3916-3141

Agnes Wangai

PhD student

Budapest University of Technology and Economics
Department of Aeronautics, Naval Architecture and
Railway Vehicles

orcid.org/0000-0003-3916-3141

Ondrék József

A HATNAPOS HÁBORÚ ELŐZMÉNYEI A LÉGIERŐK SZEMPONTJÁBÓL

Az 1967-es hatnapos háború (más néven a III. arab-izraeli háború vagy 1967-es júniusi háború) egy döntő légitámadás sorozattal kezdődött el. A konfliktus gyakorlatilag az első napon eldőlt a remekül megtervezett és végrehajtott Fókusz hadművelettel, melynek során az Izraeli Légierő döntő légi fölényt vívott ki. Mivel a hatnapos háború utóhatásai máig éreztetik hatásukat a Közel-Keleten, ezért érdemes a hadművelet sikeréhez vezető utat újra megvizsgálni. A jelen tanulmány célja, a hatnapos háborúhoz vezető út főleg politikai és részben gazdasági okainak rövid bemutatását követően, a hadviselő felek légierőinek ismertetése, különösen az 1956 és 1967 között végrehajtott fejlesztésekre koncentrálva.

Kulcsszavak: légiháború, arab-izraeli, konfliktus, előzmények, hatnapos háború, 1967 június

BEVEZETÉS

A közel-keleti események mindig is szerves részét képezték az európai történelemnek is. Bár napjainkban Szíriáról és Irakról szólnak főleg a híradások, de az arab-izraeli kérdés sincs még megoldva. A zsidók és muzulmánok közötti ellenségeskedés az egyik meghatározója lett a 20. század második felében a közel-keleti helyzetnek. A számtalan kisebb és a jó néhány nagyobb háború közül azonban egy mindenképpen kiemelkedik, ez pedig az 1967-es hatnapos háború. Hosszát tekintve ez a legrövidebb, viszont történelmileg meghatározó hatása miatt ez a legfontosabb mind közül. Bármely történelmi értekezésnél fontos az tárgyalt esemény megfelelő kontextusba helyezése. Az adott tanulmányhoz biztosított hely hossza a bemutatás részletességét ugyan korlátozhatja, de néhány szóban érdemes a háborúhoz vezető útról is említést tenni. Szükséges mindez azért, hogy a harcmezőn történt események miértjét ne csak önállóan tekintsük, hanem egy nagyobb kép részeként. Hadtörténészek számára egyértelműen a legérdekesebb képkockái a háborús helyzeteknek a harcmezőn történtek. Ugyanakkor a képkockákon látottakhoz a mögöttük húzódozó politikai, szociális és egyéb okokat is fontos megérteni, hiszen ezek is hozzájárulnak a háború végkimeneteléhez. A hatnapos háború is kiváló példája ennek, ahol egyrészt fontos látni az ellenségeskedés kirobbanásához vezető utat, a térség és a világ politikailag befolyásoló tényezőit és főleg a hadviselő felek felkészülését a háborúra. A tanulmányban bemutatott események és körülmények elemzése támogatja azt a hadtudományi kutatási követelményt, amely meghatározónak tartja a hadtörténelmi tapasztalatok feldolgozását és beépítését az oktatásba és képzésbe egyaránt¹.

AZ ARAB-IZRAELI KONFLIKTUS GYÖKEREI A 20. SZÁZADBAN

Az arab-izraeli viszály évtizedekre, sőt egyes értelmezések szerint már évszázadokra nyúlik vissza. Akár Mohamed 632-ben bekövetkezett halálát, akár Herzl Tivadar munkásságát és a 1897-ben Bázelen megrendezett I. Cionista Világkongresszust tekintjük a viszály kezdetének

¹ Boda et al: Fókusz és együttműködés. A hadtudomány kutatási feladatai. Honvédségi Szemle 2016/3. pp 3-19.

az biztosan kijelenthető, hogy a 20. században már mindenképpen a zsidó-muzulmán viszályról szóltak a közel-keleti események. Az 1917-es Balfour-nyilatkozat elvi szinten nyitotta meg az utat a zsidó telepések előtt, de a Szent Föld ekkor még az Oszmán Birodalom fennhatósága alá tartozott, így nagyarányú betelepedés nem történt. Az első világháborút követően brit fennhatóság alá helyezték Palesztinát 1923-tól. Már magának a területnek az elnevezése is problémás, hiszen azt korábbi török közigazgatási egység egybeolvasztásával hozták létre. A mandátum 1948. május 14-én éjfélig adott jogot a brit csapatoknak az ott tartózkodásra. Szemben a Balfour-nyilatkozattal, amely gyakorlatilag csak egy gesztus értékkel bírt – és a korabeli brit diplomáciára jellemzően az araboknak is tettek hasonló ígéreteket a McMahon-Hussein levelezésben – a mandátum már a nemzetközi jog erejével lett felruházva, és ezen felbátorodva egyre nagyobb számban érkeztek új telepések a Szent Földre. A konfrontációra azonban a határozat életbe lépéséig sem kellett várni, hiszen vallási/etnikai összeütközések már 1920-tól kezdve voltak Jeruzsálemben és Raffában is². A térség erőviszonyait alapjaiban változtatta meg a második világháború kitörése. A Szíriában állomásozó Vichy csapatok gyengén felszereltek voltak és a Brit Birodalom tekintélye is csorbát szenvedett, ráadásul a világegés harcaiból meggyengülve kikerülő Brit Birodalomnak már nem voltak sem politikai, sem anyagi érdekei Palesztinában. Ebből következően a Palesztin Mandátumot visszaadták, az Egyesült Nemzetek Szervezetének (ENSZ), amely a Nemzetek Szövetségének jogutójának tekinthető. Az ENSZ komolyan vette a feladatát, létrehozták a UNSCOP (United Nations Special Committee on Palestine) szervezetet, hogy a helyzet rendezésére megoldást keressenek. A UNSCOP javaslat alapján megírt határozatot Genfben 1947. november 29-én az ENSZ közgyűlése elé terjesztették, majd 33 igen, 13 nem szavazattal, 10 tartózkodás mellett elfogadták a tagok az ENSZ 181. számú határozatát, amelyben felosztották Palesztinát. A jelenlévő tagok közül az összes iszlám vallású állam nemmel szavazott, az Egyesült Államok és a Szovjetunió igennel, míg Nagy Britannia inkább tartózkodott. Hiába jelentett a gondosan kidolgozott határozat papíron egy jó megoldást az érdekek teljes ellentéte, a felek közötti együttműködés teljes hiánya és a folyamatos, kölcsönös atrocitások gyakorlatilag megvalósíthatatlanná tették azt. Az első arab-izraeli háború tulajdonképpen polgárháborúként indult és összecsapások voltak már 1946–1947 folyamán is. Ténylegesen háborúvá akkor csapott át a konfliktus, amikor 1948. május 15-én David Ben-Gurion kikiáltotta Izrael függetlenségét. Ekkor Izraelt gyakorlatilag az összes szomszédja megtámadta, a zsidó telepéseknek 5 arab hadsereggel kellett szembenézniük. A kezdeti arab sikereket követően 1948 őszére, az átszervezett Haganah-ból újonnan megalakult Izraeli Védelmi Erők (Israel Defence Forces, továbbiakban csak IDF) visszaverték a támadásokat és feloldották Nyugat-Jeruzsálem blokádját is. Ugyan győzelmet egyik fél sem könyvelhetett el, de a patt-helyzet a lakosságszámot és a kezdeti katonai erőviszonyokat tekintve győzelemmel ért fel Izrael számára. A helyzet azonban hosszú távon nem rendeződött és az 1956-os második arab-izraeli háború, vagy más nevén a szuezi-válság, egyenes következménye volt ennek. Az 1956. október 29-én kirobbant háború ugyan katonailag a brit-francia-izraeli hármas szövetség sikereit hozta és ahogy Oszetzky Tamás fogalmazott: *„Lényegében a legtöbb vonatkozásban kiegyensúlyozott erőviszonyok állottak fenn és az izraeli sikert elsősorban a vezetés, a kiképzési*

² Ahron Bergman. *Israel's Wars*. London: Routledge, 2004. Print. p. 8.

*színvonal és a mozgékony területén mutatkozó fölény eredményezte*³, de politikailag ez sem jelentett megoldást és tulajdonképpen csak kikövezte az utat egy harmadik háború kitöréséhez.

A HATNAPOS HÁBORÚ KÖZVETLEN POLITIKAI ELŐZMÉNYEI

A hatnapos háborút és a kirobbanásához vezető utat is a hidegháborús viszonyok, a blokkokra tagozódás és az 1960-as évek rendkívül bonyolult politikai helyzetében kell értelmezni. A háború terve és minden lépése a résztvevők hadvezetéséhez ebben a közegben értelmezhető igazán, azonban erre a bonyolult kontextusra külön tanulmányok lennének áldozhatók. Így az ezt követő bekezdésekben csak a Közel-Keletet közvetlenül érintő és az itt lezajlott előzmények bemutatására kerül sor. Mint az közismert, sem az 1956-os háborút lezáró határozat, sem a Sínai-félszigetre telepített ENSZ békefenntartó erők nem jelentettek végleges megoldást. A kor politikusai mindkét oldalon pillanatnyi állapotnak tekintették a békét és az 1956–1967 közötti időszak eseményei ezt jól tükrözik. Azonban a hidegháborús viszonyoknak megfelelően az is látható, hogy a felek kölcsönösen igyekeztek a nyílt háborút egészen addig elkerülni, ameddig ez csak lehetséges volt és ahhoz, hogy 1967-ben tényleg kirobbanjon a harc legalább egy tucattnyi, együttesen közrejátszó esemény volt szükséges. Ha ezeket a külső tényezőket önmagukban vizsgáljuk, láthatjuk, hogy nem lettek volna elegendők ahhoz, hogy nyílt háború robbanjon ki, azonban ha ezeket együttesen nézzük, megállapíthatjuk, hogy elegendők voltak a konfliktus tényleges háborúvá válásához. Azon események közül, amelyek végül a feleket a háború kirobbanásához sodorták néhányat érdemes részletesebben megvizsgálni. A konfliktusok egyik fő oka az édesvíz elérhetőségének kérdése. John K. Cooley tanulmányában rámutat arra, hogy még a térség baráti viszonyt ápoló arab országai közt is feszültséget szült az életet adó víz elérésének problémája. Ez pedig hatványozottan igaz volt az Izraellel való kapcsolatukra.⁴ Az zsidó telepések igényeinek megfelelően és különösen a Negev-sivatag termőterületté változtatásáért Izrael az úgynevezett National Water Carrier of Israel nevű a Galileai-tengerből vizet szállító csatornarendszere kialakításához kezdett hozzá az 1960-as években. Az építési munkálatokat megállítására a jordániaiak, valamint a szírek is mindent megtettek, arra a valós tényre hivatkozva, hogy a Jordán folyó vízhozamának befolyásolásával az izraeliek kihasználják az országok közös határvonalán fekvő természeti erőforrásokat. Ezt még Kennedy elnök és kormánya is elítélte, pedig minden másban nagy támogatói volt zsidó államnak, például a legmodernebb MIM-23 Hawk légvédelmi rakétarendszerrel is ellátták őket⁵. Az izraeli vízgazdálkodási építkezésekre válaszul a szírek is vízelterelési munkálatokba kezdtek, amelyek a Golán-fennsíkről a Galileai-tengerbe torkolló vízforrásokat érintették. Értelemszerűen ez aláásta az izraeli terveket, ezért a zsidó állam megpróbált katonai akciókkal véget vetni a szírek ilyen jellegű tevékenységének⁶.

³ Oszetzky Tamás. Arab-izraeli Háborúk 1848-1982. Budapest: Zrínyi Katonai Kiadó, 1984. Print. p.77.

⁴ Cooley, John K. "The War over Water". Foreign Policy 54 (1984): 3–26. Web.

⁵ Oren, Michael B. Six Days of War: June 1967 and the Making of the Modern Middle East. London: Oxford UP, 2002. Print. p.16.

⁶ A vízkonfliktusok nem csak ezt a területet érintették és érintik a térségben. Részletesebben lásd: Padányi József: Vízkonfliktusok. Hadtudomány 2015. „E” szám pp 272-284. http://mhht.eu/hadtudomany/2015/2015_elektronikus/23_PADANYI_JOZSEF.pdf

Az  desv z hiányából eredő problémákon kívül a térség amúgy is sérülékeny politikai kapcsolatrendszerét tovább rontották a palesztinok állandó szabotázs- és terrorakci i. Legkönnyebben a csatornarendszer k r  épített infrastruktúra volt megtámadható, amit a palesztinok előszere-tettel ki is használtak és több vízi létesítményt, valamint eszkoz ket, beleértve szivattyúkat és munkagépeket is megrongáltak vagy megsemmisítettek. Az 1960-as évek közepének mindkét aktív palesztin szervezete a Palestine Liberation Organization (PLO), magyarul a Palesztin Fel-szabadítási Szervezet, és a Yasser Arafat által vezetett Fatah is ezeket támadta, s t a Fatah legelső akciója is egy ilyen támadás volt 1964. december 31- n  jjel⁷.

Végül pedig meg kell említeni a szovjet dezinformációt is, mint a háborúk kialakulásának har-madik fontos előzményét. Külön tanulmányok és könyvek szólnak a t m r l és ezek szinte mindegyike másként magy r zza ezt, azonban az tény, hogy az izraeli csapat sszevon sokr l és hadoszt lymozg sokr l a szovjetek valótlan információkat juttattak el a sz r és egyiptomi szövetségeseiknek. A jelenleg elérhető dokumentumok alapján, az kérdéses, hogy ezt sz nt sz nd kkel tett k, avagy nekik is hibás információk voltak, b r a hamis hírszerzési információk esélye mindenképpen csekélyebb. A szándékos dezinform l snak több célja is lehetett, mint például a közel-keleti erő megbillent se, kihasználása annak, hogy az Egyesült  llamok a vi-etn mi ingoványban ragadt és le volt kötve, térnyerés a régióban és ezzel együtt a nyugati be-foly s csökkentése, a szovjetekkel ideológiailag megegyező sz r rezsim megerősítése, a fegy-verelad sok növelése, az izraeli atomprogram elleni v laszlep s, vagy akár egy másik, jelenleg még titkosított ok, illetve ezek kombinációja. Az azonban bizonyos, hogy a fals információk, amelyekkel a Szovjetunió ellátta szövetségeseit hozzájárultak a háború kirobbanásához.

A három elsődleges ok mellett kronológiai sorrendben az alábbi tényezők befolyásolták az ese-ményeket az 1967. j nusi harcokat megelőző egy évben: 1966. február 23- n Szíriában balol-dali puccsot hajtanak végre katonai vezet k, átveszik az ország irányítását és újra szorosabbra f zik kapcsolataikat Egyiptommal és a Szovjetunióval is. 1966. november 4- n, a korábbi si-kertelen Egyesült Arab Köztársaság elnevezésű kezdeményezés felbomlását követően ismétel-ten védelmi egyezményt  rt alá Egyiptom  s Sz ria, melyben kölcsönösen garantálták egymás védelmét egy esetleges izraeli támadás esetén⁸. 1966. november 13- n a korábbi sorozatos pa-lesztin támadásokra válaszként megtámadta a Ciszjordániában fekvő Samu falut. Ez az ese-m ny elmélyítette az Arab Lig n belül az egyiptomiak és a jord niaiak között már eleve fenn-álló ellentéteket. Az 1967-es  v első három hónapja alatt több mint 270 incidensre kerül sor a sz r határnál. Ez a nagy szám nagyrészt k t összetevőből áll. Tartalmazza egyr sz a Golán-fenns kr l izraeli telepeseket célzó sz r t z rs gi támadásokat, m sr sz pedig a határ mindkét oldalán folyó vízelvezető építkezések ellen intézett kölcsönös t mad sokat⁹. Az arabok rend-szerint t z rs gi eszkoz kkel és harckocsikkal támadnak, amire az izraeliek általában l gicsa-p ssal válaszolnak. Az  sszeecsap sok egyik a csúcspontja volt az 1967.  prilis 7-ei nagyszabású légi harc, amelyet a Szíriai Arab Légierő (SyAAF)  s az Izraeli Légierő (Israeli Air Force, továbbiakban csak IAF) vívott egymással a sz r főváros, Damaszkusz felett. Az  sszeecsap s

⁷ Oren, Michael B. *Six Days of War: June 1967 and the Making of the Modern Middle East*. London: Oxford UP, 2002. Print. p.1.

⁸ Oren, Michael B. *Six Days of War: June 1967 and the Making of the Modern Middle East*. London: Oxford UP, 2002. Print. p.50.

⁹ Dunstan, Simon, and Peter Dennis. *The Six Day War 1967: Sinai*. Oxford: Osprey, 2009. Print. p.7.

izraeli gy zelemmel z rult, Mirage III CJ típusú g peik, saját veszteség nélkül, hat db új, sz r MiG-21F-13-as elfogó vadászt l ttek le. Egy hónappal a légi összecsapást követően, 1967. május 13- n ny jtzk  t a szovjetek a már említett ominózus fals információkat, melyben arról tájékoztatják arab szövetségeseiket, hogy a zsidó állam északi területein csapat sszevon sokat hajtott végre, és a jelent s május 17- re teszik azt az időpontot, amikor Izrael tizenegy dand rnyi erővel megtámadni készül Sz ri t¹⁰. A hírszerzési információkra alapozva, Egyiptom már másnap  ttelep t k t hadosztályt a Sínai-félszigetre. 1967. május 15- n Izrael függetlenségét ünnepli, de a katonai par d n neh zfegyvereket nem is vonultatnak fel, nehogy az arabok vagy a szovjetek provokációnak vegy k ezt. Az izraeli óvintézkedések azonban hiábavalók, és már beindult folyamat részeként Nasser május 18- n utasítja a Sínai-félszigeten állomásozó, békefenntartó UNEF csapatokat a kivonulásra, amire az egyiptomi elnök legnagyobb meglepetésére az ENSZ főtitkára U Thant tényleg visszarendeli onnan az egységeket. Erre válaszlépésként Izrael is behívja a tartal kosait, valamint mozgósítani kezd május 20- n. Május 23- n a Sínai-félszigeten állomásozó egyiptomi erőket tovább erősítik és Nasser lez ratja a Tir ni-szorost az izraeli hajóforgalom elől. Az ENSZ békefenntartók kivonulása után a lezárás tulajdonképpen kötelező lépés volt az egyiptomiak részéről, mivel Nasser, az arab világból érkező politikai nyomás miatt nem engedhette, hogy az izraeliek a szem k előtt használják a vízi útvonalakat. Különösen azért, mert a zsidó állam az Akabai- b l n keresztül kapta a kőolaj importja nagy részét. A folyamat részeként, a szoros lezárása után egy héttel Hussein király is Egyiptomba látogat, ahol a nem sokkal korábban még ellenségnek tekintett Nasserral kölcsönös védelmi szövetséget kötnek, mialatt Egyiptom újabb alakulatokat telep t  t a Sínai-félszigetre. Az egyezmény értelmében, a jordániai hadsereg vezetése egyiptomi k zbe kerül egy háború esetén, valamint az iraki légi és szárazföldi erők Jord ni n keresztül vehetnek r szet egy arab támadásban. A fenyegetettség hatására a zsidó állam is válaszlépéseket tesz. Izrael külügyminisztere Abba Ebban egy gyors diplomáciai k r t alkalmával tárgyal Johnson amerikai elnökkel és De Gaulle francia köztársasági elnökkel, abban bízva, hogy a nagyhatalmak esetleges nyomására az egyiptomiak megs ntetik majd a blokádot. A látogatás eredményeként Johnson felszólítja Egyiptomot a blokád feloldására, ugyanakkor ennél többet nem tud tenni, hiszen a vietnámi helyzet miatt nem volt lehetősége a közel-keleten is beavatkozni az esem nyekbe¹¹. A helyzetet látva a hadászati ismeretekkel nem rendelkező Levi Eshkol miniszterelnök (aki egyben védelmi miniszter is volt) lemond védelmi miniszteri pozíciójáról és átadja azt Moshe Dayannak, az IDF veter nj nak.¹² Dayan első intézkedéseként a kormánytagoknak tartott egy maratoni hosszúságú eligazítást, amelyben eld nt tt k, hogy Izrael nem fogja tétlenül kivárni, amíg az arabok megtámadják őket, hanem megelőző csapást fog mérni az ellenséges er kre¹³. A támadás megindítását 1967. június 5. jeruzsálemi idő szerint reggel 7:45-re, kairói idő szerint 8:45-re id z tett k. Ekkor indult el a F kuszt hadművelet első hulláma, amely később a huszadik század egyik legeredményesebb és legjobban kivitelezett katonai akciójaként v lt ismertté.

¹⁰ Ibid.

¹¹ Shlaim, Avi, and William Roger Louis. *The 1967 Arab-Israeli War: Origins and Consequences*. Cambridge: Cambridge UP, 2012. Print. p.XIII.

¹² Dunstan, Simon, and Peter Dennis. *The Six Day War 1967: Sinai*. Oxford: Osprey, 2009. Print. p.7.

¹³ Shlaim, Avi, and William Roger Louis. *The 1967 Arab-Israeli War: Origins and Consequences*. Cambridge: Cambridge UP, 2012. Print. p.XIV.

A HADVISELŐ FELEK LÉGIEREJE

A Fókusz (héberül Moked) hadművelet részletes tárgyalása előtt az utolsó szükséges lépés a hadviselő felek légierejének a bemutatása. Ez vonatkozik a szembenálló haderők alkalmazott eszközeire, de emellett a hadseregek kiképzésére, felépítésére és vezetésére is. A matematikában elterjedt mondás, miszerint „a s mok nem hazudnak”, a történettudomány esetében nem állja meg a helyét. A hatnapos háború is kiválóan illusztrálja, hogy egy hadsereg erejét és hatékonyságát nem lehet csupán a s mok alapján megítélni, hanem figyelembe kell venni az egyéb körülményeket, környezeti és földrajzi tényezőket, valamint a szervezést és a tapasztalatokat is. Azonban a s mokat teljesen figyelmen kívül hagyni sem lehet, hiszen a hadviseléshez eszközök szükségesek, és nincs ez másként a modern légi hadviselés esetében sem. A légi hadviselő képessegek megértésére szolgál az alábbiakban először az arab koalíció, majd az IAF bemutatása a légierők szempontjából.

Egyesült Arab Köztársaság (Egyiptom)

A térség vezetője, és katonailag is legerősebb állama, egyben Izrael legfőbb ellensége Egyiptom volt ebben az időben. Ezt a tényt támassza alá az is, hogy az izraeli megelőző csapást, azaz a Fókusz hadműveletet kizárólag Egyiptom ellen tervezt k meg részletesen, a többi fronton a helyzet éppen aktuális alakulásához kívánták alakítani a szükséges lépéseket a Mordechai Hod vezérőrnagy vezette IAF-n l. Egyiptom haderejének egy része azonban nem állt rendelkezésre, hiszen Nasser 1962-t l kezdve egyre jobban belebonyolódott a jemeni polgárháborúba, ahol ráadásul az ellenfele szintén egy arab  llam, Sza di Arábia volt. Ahogy Michael Oren, Izrael korábbi nagykövete az Egyesült  llamokban fogalmaz a jemeni konfliktussal kapcsolatban: *„egy olyan hiábavaló és heves folyamatba kezdett el belekeveredni (Egyiptom), amely miatt a k sz b n álló vietnámi háborút nyugodtan lehetett volna Amerika Jemenj nek nevezni”*¹⁴. Az a háború súlyos anyagi terhet r tt Egyiptomra és s mos sebesültet, valamint hősi halottat követelt, elsősorban a s razf ldi haderők egységeinek. Azonban az erőforrások elvesztése mellett haszonnal is szolgáltak, hiszen az egyiptomi légierő pilótái komoly harci tapasztalatokra tudtak itt szert tenni, az Il-28-as (NATO kódneve: Beagle) bomb z er k m g nagy hatótávolságú bombavet seket is hajtottak végre, nem egyszer szaúdi területeken is. A felépítését tekintve, az egyiptomi légierő (angolul Egyptian Air Force, EAF) az angol mintát követte, hiszen a kezdeti történelmük szorosan összeforrott a Királyi L gier vel. Egy repülőezred általában három s zadb l állt, amelyben 15–20 gép volt megtalálható. Azonban Nasser az 1960-as években egyre jobban a szovjetek felé tolódott és 1967-re szinte teljesen szovjet fegyverzettel felszerelt l gier r l lehet beszélni. A kor s zinvonal nak megfelelő eszközök beszerzése már az 1956-os Szaez-i válság előtt megkezdődött, amikor Csehszlovákiából és a Szovjetunióból is vásároltak eszközöket, majd ezt a háború után folytatták, a veszteségeket pótolták és 1962-t l különösen nagy intenzitással új fegyverrendszereket is beszeriztek. Az egyiptomiak és a s irek is 1960-ban megkapták az első MiG-19S (NATO kódneve: Farmer-C) elfogó vadászokat, amely a szuperszonikus korszakba való belépést jelentette a két ország s m ra. A közel-keleti fegyverkezési versenyben ez volt a válaszuk Izraelnek, amely egy évvel korábban, 1959-ben szerezte be az első szuperszonikus t pus t, a Dassault Super

¹⁴ Oren, Michael B. Six Days of War: June 1967 and the Making of the Modern Middle East. London: Oxford UP, 2002. Print. p.15.

Mystére-t Franciaországból¹⁵. Az első MiG-19S-ek megérkezése után általános jelenség volt a keleti-blokk szinte minden államában, hogy gyors egymásutánban beszerezték a fejlettebb, radarral ellátott MiG-19PM-et (NATO kódneve Farmer-E), majd az új típust a MiG-21-et (NATO kódneve Fishbed) is és nem volt ez másképp Egyiptomban sem. A légierő újabb fejlesztése szintén egy izraeli lépésre szánt válasz volt. Nasser már 1961-ben érdeklődött a típus iránt, és végül a szovjetek is beleegyeztek a két hangsebesség elérésére is képes MiG-21 szállításába, válaszul a zsidó állam Dassault Mirage IIICJ típusának beszerzésére. Az első szállítmány negyven db MiG-21F-13 (NATO kódneve Fishbed-C) típusból állt¹⁶. Az egyiptomi, illetve gyakorlatilag a teljes részvevő arab erők darabra pontos számáról szinte minden forrás mást jegyez, de megállapítható, hogy körülbelül 550 repülőeszközzel rendelkezett az egyiptomi légierő a háború előestéjén, amiből 440–450 volt modern harci repülőgép és ezen belül is körülbelül 210–220 modern MiG-19-es és MiG-21-es elfogóvadász, kb. 20 db Su-7 BMK vadászbombázó (NATO kódneve Fitter-A), valamint Il-28-as (NATO kódneve Beagle) és Tu-16-os (NATO kódneve Badger) bombázó. Ezek a MiG-21-es típus átlagos 60–65%-os hadrafoghatósága¹⁷ és a MiG-19, a hatalmas hőségben tapasztalt hajtóműhűtési problémák¹⁸ miatti még alacsonyabb hadrafoghatósága mellett is tekintélyes erőt képviselt. Azonban az izraeli vezetést érthető módon nem ezek az alapvetően védelmi funkciókat ellátó elfogóvadászok aggasztották, hanem a körülbelül 40 db IL-28¹⁹ és legalább 20²⁰ db Tu-16KS (NATO kódneve Badger-B) bombázó, valamint a 10 db-ra tehető korábbi Tu-16K (Badger-A) változat. Ezek egy bevetés alatt, összesen több mint 350 tonna bombát lettek volna képesek célba juttatni²¹. Az izraeliek számára különösen a Tu-16-os távoli csapásmérő képessége volt félelmetes, ugyanis képes volt a KS-1 Komet (NATO kódneve Kennel) föld-levegő robotrepülőgép hordozására. Ez a fegyver a hangsebességhez közeli 1150 km/h-s sebességgel repülve közel egy tonnás robbanófejet hordozott akár 100 km távolságra is²². A gyakorlatban ez azzal a veszéllyel járt, hogy az egyiptomi Badger-B-k Tel-Avivet, Jeruzsálemet vagy akár a dimónai nukleáris reaktort is megtámadhatták volna az izraeli légtér érintése nélkül, a Földközi-tenger fölött indított rakétákkal. Bár a források nem mutatnak egyezést azzal kapcsolatban, hogy Egyiptom ténylegesen mikor kapta meg az első Tu-16-os gépeket, de az biztos, hogy 1967-re még nem érték el a teljes harckészültséget. Habár az Il-28-as, az EAF másik bombázó típusa nem rendelkezett robotrepülőgép fegyverzettel, azonban a bombaterhelését és sebességét tekintve ez sem maradt el sokban izraeliek francia gyártmányú és nagy sikerrel alkalmazott bombázója a Sud Aviation Vautour-tól, azonban hatótávban és manőverező képességben felülmúlta a Beagle-t²³.

A bombázógépek komoly képességeivel szemben az egyiptomi légierő legmodernebb vadászbombázója a Su-7-es (NATO kódneve Fitter-A) 1967-ben még egy kiforratlan és alacsony harcértékű típus volt. 1966 júliusától kezdve a hatnapos háború kitöréséig 64 db-ot szállítottak le belőlük a szovjetek, de a viszonylagosan kis hasznos terhelése, a rövid hatótávja, és a már

¹⁵ Nicolle, David, and Tom Cooper. Arab MiG-19 and MiG-21 Units in Combat. Oxford: Osprey, 2004. Print. p.7.

¹⁶ Ibid. p.9.

¹⁷ Ibid. p.13.

¹⁸ Ibid. p. 8.

¹⁹ Gál, József. "Közel-keleti Légiháborúk Története." Top Gun Sept. 1997:2. Print. p.18.

²⁰ Bock, Robert. Tu-16 Badger in Action. Carrollton, TX: Squadron/Signal Publications, 1990. Print. p.20.

²¹ Gál, József. "Közel-keleti Légiháborúk Története." Top Gun Sept. 1997:2. Print. p.18.

²² Марковский, Виктор, and Игорь Приходченко. Ракетоносец Ту-16. Триумф советского авиапрома. Москва: Яуза, 2015. Print. p.119.

²³ Taylor, John W. R. Janes All the Worlds Aircraft. London: Janes Pub. Co., 1983. Print. pp.36-37.

korábban említett kiforrotlans g b l adod  műszaki probl mai miatt nem kedvelték a típust az arab pilóták. Az egyiptomi légierő k t ezred és ezeken belül hat századot szerelt volna fel a Su-7BMK típussal, azonban erre csak részben került sor, mivel a háború kitörésekor csupán 15 képzett pil t juk és ugyanennyi hadra fogható Fitter-A-juk volt²⁴.  gy június 5- n az EAF f  vadászbombázó erői a korábbi első vonalbeli elfogóvadász feladatkörből vad szbomb z v   t-sorolt MiG-17F (NATO kódneve Fresco-C), MiG-17PF (NATO kódneve Fresco-D)  s a MiG-15BISz (NATO kódneve Fagot-B) típusokból is álltak, melyekből összesen 124 volt  llo-m nyban²⁵. A MiG-17F  s PF típusok teljesítményével olyannyira elégedettek voltak, hogy m g a későbbi  sszechap sokban is bevetett k őket alacsony támadó vadászbombázó feladatkörben a Sínai-félsziget felett. A Fresco-k saját, egyiptomi készítésű plusz bombatart t is kaptak a t rzs k alá,  gy harc rt kben közel egyenértékűek voltak az izraeli Super Myst re gépekkel. Ráadásul a MiG-17F a 37mm-es Nudelman N-37-es g p gy j val alkalmasabb volt a földi csapatok támogatására, mint a Super Myst re a DEFA 30 mm-es g p gy ja.

A korábban említett Farmer  s Fishbed típusok alkották az EAF elfogó vadász állományát. A Szovjetunióban képeztek ki a pilótákat mindkét típusra. A kiképzés kimerült az alapvető repülési ismeretek és a földi irányítás által vezetett elfogások elsajátításában, manőverező légi harcot nem oktattak nekik. A szovjetek mentségére szól, hogy a kor l gier i közül nagyon kevés fektetett kellő hangsúlyt a légi k zelharcra, túlzottan megbíztak a kiforrotlan rak tafegyverekben és m g az Egyesült  llamok l gieereje és haditengerészete is kénytelenek voltak a saját hibájukból tanulni Vietnám légterében. A nagyteljesítményű szuperszonikus típusra való  tk pz s segítése érdekében 1964-ben beszereztek MiG-21U (NATO kódneve Mongol-A) gépeket is. Ezek kétüléses okt t g pek lévén némi harc rt k k ugyan volt, de elsődleges feladatuk a rep l n vend kek zökkenőmentes átállásának a segítése volt a MiG-15UTI (NATO kódneve Midget) haladó okt t  gépekről a sokkal nagyobb teljesítményű és magasabb repülési tud st igénylő MiG-21-re. Szintén 1964-ben jutott el oda a légierő fejlesztése, hogy 45–50 db  j MiG-21FL típust is be tudtak szerezni. Ezek azonban nem rendelkeztek gépágyúval, mint például az indiai légierő FL gépei,  gy gyakorlatilag a MiG-21PF szintjén voltak²⁶. Az egyiptomi elfogóvadász erő gerincét alkotó MiG-21F-13 (Fishbed-C)  s az újabb MiG-21FL/PF (Fishbed-D) között szemléletbeli váltás figyelhető meg. Az MiG-21-es második nagy számban sorozatgyártott és az arab  llamokban is rendszeresített altípusa az F-13 ugyan csak jó időjárási körülmények közt volt beveteth , de rendelkezett egy db beépített Nudelman-Richter NR-30 típusú 30 mm-es g p gy val²⁷. Az F-13-n l modernebb FL/PF altípus már minden időjárási körülmények közt beveteth  volt köszönhetően a fejlettebb radarj nak, és az új hajtóműve miatt különösen nagy magasságban nyújtott kiváló teljesítményt. Viszont mint támadó fegyverzet csak 2 db R-3Sz (NATO kódneve Atoll) típusú légi harc rakétával rendelkezett, ugyanis a tervezésnél elhagyták a beépített fedélzeti gépágyút. A keleti és a nyugati elfogóvadászok tervezésénél is megfigyelhető volt a beépített gépágyú elhagyása a légi hadviseléssel foglalkozó stratégák nyomására. A szakemberek  gy v lt k, hogy idővel a modern légi  sszechap sok már csak távolról fognak lezajlani, ezért is van szükség csupán az erre alkalmas fegyverzet

²⁴ Cooper, Tom, and Franz Vajda. "Arab Air Forces on 5 June 1967." www.acig.org. 20 Feb. 2008. Web. 17 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

²⁵ Ibid.

²⁶ Nicolle, David, and Tom Cooper. *Arab MiG-19 and MiG-21 Units in Combat*. Oxford: Osprey, 2004. Print. p.10.

²⁷ Aloni, Shlomo. *Mirage III vs MiG-21: Six Day War, 1967*. Vol. 28. Oxford: Osprey, 2010. Print. Duel. p.27.

használatára. Azonban a hadtörténelem bebizonyította Vietnám és a Közel-Kelet eg n is, hogy ez egy nagyon hibás elgondolás volt. Például az amerikai légierő és a haditengerészet korai F-4 Phantom gépei is ennek a hátrányát tapasztalták meg Délkelet-Ázsia felett, illetve az egyiptomi MiG-21FL-ek is emiatt képviseltek kevesebb értéket, mint az F-13-as az 1967-es összecsapásokban. Ami a strat g knak papíron jól hangzott, azt valós körülmények közt nem lehetett végrehajtani, hiszen különösen sivatagi környezetben rendkívül megbízhatatlanok voltak a korai infrav ros önirányítású légiharc rakéták, mint például a MiG-21-es R-3Sz típusú fegyvere és ennek eredményeként főleg a g p gy kra helyeződött a hangsúly a l giharcok során.

A harc eljárás és a felépítés terén is  tt rtek az egyiptomiak a szovjet doktrínára, b r a felépítés terén ez inkább átnevezést és nem radikális változást jelentett. A századaikat rep l ezredekbe szervezt k és az gépek irányítását a központi földi irányításra bízták, azonban nem rendelkeztek annyi eszközzel, hogy ezt a teljes légtérben biztosítani tudják. A központi irányítás feladata volt a gépek c lravezet se, a támadó erők elfogása. Taktikai szinten azonban a pilóták továbbra is a lazább, angol mintájú, úgynevezett „fluid four” (rugalmas négyes) alakzatban repültek, ellentétben a szovjetek által alkalmazott zártabb „finger four” (négy ujj) form ci val²⁸.

A térség legnagyobbjának számító egyiptomi légierőnek hiába volt összesen húszezer f s létszáma, mert a kiképzés terén súlyos gondjaik akadtak és a gépek hadrafoghatósága is átlagosan a már említett 60–65% között mozgott csup n²⁹. A tapasztalatok terén a pilóták főleg a Szovjetunióban elsajátított repülési ismereteikre támaszkodhattak, de a szerencsésebbek már a jemeni polgárháború során is szereztek harci tapasztalatokat. Jemenben viszont nagyrészt földi célokat támadtak,  gy arra a manőverező légi harcra, amelyre a Nílus és a Sínai-félsziget felett került sor egyáltalán nem álltak k szben.

Szíriai Arab Köztársaság

A számok tükrében a Sz ria Arab Légierő (Syrian Arab Air Force, SyAAF) volt Izrael második legjelent s gteljesebb ellenfele 1967-ben. A számokból azonban ez esetben sem lehet messze men  következtetéseket levonni, mert az ország különleges, turbulens politikai helyzetéből adódóan hadereje jóval gyengébb volt, mint papíron. A sz r légierő első nagyarányú modernizációjára Egyiptom után két évvel, csak 1956-ot követően került sor. A kor szintvonal nak megfelelő technikai szintet képviselő első MiG-17-esek 1957-ben érkeztek, majd a fejlődés m g gyorsabb ütemet mutatott és a MiG-19S-ek érkezésével 1958-ban a szírek is beléptek a szuperszonikus korszakba. Az első k t db bomb z g p k – természetesen Il-28-asok – szintén ugyanebben az évben érkezett, majd ezeket további 4 példány követte 1962-ig és ekkor alapították meg az ezekből a harceszk z kb l álló k nny bomb z  sz zadukat. A hat Iljushin magában sem képviselne t l  t k pes erőt az IAF Mirage-aival szemben, de a megfelelő karbantartás, és főleg a kiképzett földi személyzet hiánya miatt az ország bombázó erői csupán k t  működőképes Il-28-b l álltak 1967 j nius ban³⁰.

A vadászrepülők helyzete valamennyivel jobb képet festett. Ugyan a MiG-19-es üzemeltetése kudarc volt a szírek számára, de más típusokkal fel tudták tölteni a vadászrepülő alakulataik.

²⁸ Nicolle, David, and Tom Cooper. Arab MiG-19 and MiG-21 Units in Combat. Oxford: Osprey, 2004. Print. p.9.

²⁹ Ibid. p.13.

³⁰ Cooper, Tom, and Franz Vajda. "Arab Air Forces on 5 June 1967." Www.acig.org. 20 Feb. 2008. Web. 17 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

Az eredetileg hadrendbe állított 40 db Farmer-C típusból a modernebb MiG-21-ek érkezésével nem maradt egy példány sem hadrendben, hanem az összes gépet átadták a típust sikerebben üzemeltető sz vets ges knek, Egyiptomnak. Azonban ezek a példányok 1967 júniusában még mindig sz r területen  llom soltak, de hivatalosan EAF-hez tartoztak, valamint egyiptomi személyzet üzemeltette és repülte őket.

A modernebb MiG-21 esetében Sz ria volt az első arab ország, amely megkapta a kétszeres hangsebességre is képes új elfog vad szot. A szovjetek először 36 db MiG-21F-13-as altípust szállítottak, majd 1966-ig összesen 45 gépre nőtt a sz r MiG-21F-13-as  llom ny³¹. Szintén ebben az évben és az elsők közt kezdt k meg a MiG-21 újabb altípusának, az FL-nek a rendszeresítését, mint a Szovjetunió szoros szövetségesei a térségben. Egyes források szerint 39 db-ot rendeltek ebből az új alt pusb l³², de a hatnapos háború kirobbanásáig csupán 15 db érkezett meg. Ezek mellé, a MiG-15UTI-r l történő átállást elősegítendő további 6–8 db MiG-21U kik pz g pet is beszereztek³³. A teljes harcig p állományt nézve, a sz r légierő a háború kitörésekor 35 MiG-15  s MiG-17 típussal rendelkezett 3 században, 60 db első vonalbeli MiG-21F-13  s MiG-21PF géppel 4 században, és kettő db Il-28-al az egyetlen k nny bomb z  bombázó századukban.

A sz reik is a szovjet doktrínát alkalmazták a haderőnem felépítés és harc lj r s terén. A századaikat ugyan nem osztották rep l ezredekbe, de a gépek irányítását és c lravezetés t a központi földi irányításra bízták. B r a SyAAF sok segítséget kapott a szovjetektől, s t több másik szocialista országtól is, a légierő hatékonysága nem volt kielégítő. Ennek, többek közt, oka volt az elegendő szaktudással rendelkező és megfelelően kiképzett személyzet hiánya, illetve az a sz r sajátosság, hogy légierő tisztjei kénytelenek voltak a katonai repülés mellett a politikával is foglalkozni³⁴. Az állandó puccsokkal tarkított sz r politikai életben rendszeres tisztogatások voltak a légierőben ( s a szárazföldi erőknél is).  gy számos esetben nem a legnagyobb tud ssal rendelkező személyek kerültek vezető pozíciókba, hanem az aktuális politikai szeleknek megfelelő egyének. A teljes sz r haderő hatékonyságát nagyban befolyásolta ez a kártékony belpolitikai folyamat.

Jordán királyság

A Jordán Királyság szintén arab ország révén szemben állt Izraellel az 1960-as években, de mind a politikai, mind katonai helyzete elt rt a korábban bemutatott két másik arab államtól. Az I. Hussein király által vezetett ország nem tartozott a szovjet érdekszférába. Jordánia elsősorban a Nyugat felé orientálódott, hiszen ennek köszönhette a létezését, és ez a l t nagyban függött a külső segítségtől is.

A Jordán Királyi Légierő (Royal Jordanian Air Force, RJAF) teljesen brit mintára épült fel. A jordániai pilótákat és személyzetet az Egyesült Királyságban képeztek ki, a Brit Királyi Légierő, az RAF kik pz i pedig folyamatosan jelen voltak az országban, hogy seg ts k a kiképzés megfelelő menetét. Ennek megfelelően az állomány, az alacsonyabb rangú tisztektől kezdve, a földi kiszolgáló szem lyzeten és magukon a pil t kon  t egyaránt magasan képezett,

³¹ Nicolle, David, and Tom Cooper. Arab MiG-19 and MiG-21 Units in Combat. Oxford: Osprey, 2004. Print. p.10.

³² Cooper, Tom, and Franz Vajda. "Arab Air Forces on 5 June 1967." www.acig.org. 20 Feb. 2008. Web. 17 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

³³ Nicolle, David, and Tom Cooper. Arab MiG-19 and MiG-21 Units in Combat. Oxford: Osprey, 2004. Print. p.11.

³⁴ Cooper, Tom, and Franz Vajda. "Arab Air Forces on 5 June 1967." www.acig.org. 20 Feb. 2008. Web. 17 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

professzionális katonák voltak³⁵. A környező arab országokkal összevetve elmondható, hogy a jordániai pilóták voltak a legjobban kiképzettek, még akkor is, ha maga a légierő a létszámát és gépparkját tekintve elmaradt az egyiptomi és sz r légierők mögött.

Mivel a Jordán Királyi Légierő lényegesen kisebb volt, mint a régió szinte bármelyik légiereje (a libanont leszámítva)  gy nem is rendelkeztek bombázó erővel. A legmagasabb harc rt ket két század brit Hawker Hunter F.73-as vadászbombázó jelentette. A típus 1958-ban érkezett a hader h z, és a brit Hunter F.6-os altípussal teljesen megegyező k pessegekkel rendelkezett³⁶. Elfog vad sz feladatkörben 1967-re ezek a szubszonikus gépek már nem vettek fel a versenyt az izraeliek Mirage IICJ gépeivel, de a régebbi Dassault Ouragan  s Myst re típusok ellen m g alkalmazhat ok voltak, illetve a földi célok ellen is jó hatásfokkal lehetett őket használni köszönhetően a 4 db 30 mm-es ADEN g p gy j nak és nem irányított levegő-föld rak t inak. Ezenfelül rendelkeztek m g egy századnyi kiképzési célokat szolgáló brit De Havilland Vampire gépekkel, melyeknek k l nbz  altípusai együttesen tettek csak ki egy századot, és ezt is csak az Egyiptomtól ajándékba kapott példányokkal együtt. Azzal egy időben, hogy az Egyesült  llamok átvette Nagy Britanni  szerepét, mint Jordánia el sz m  szövetsége, 1965-ben meg is indultak az amerikai fegyversz ll tm nyok az országba. Ennek részeként érkeztek az el  Lockheed F-104A Starfighter elfogóvadászok a RJAF kötelékébe. Ez a típus már hasonló k pessegekkel rendelkezett, mint a MiG-21F-13  s Mirage IICJ típusok, s t fedélzeti gépágyú tekintetében felül is m lta azokat. Azonban 1967 júniusában ezek közül még csak 2 db együléses harci F-104A, és 2 db kétüléses kik pz  F-104B érkezett meg az országba, ahol a személyzet és a haj z k m g csak a földön ismerkedtek az új technik val³⁷. A j vend beli Starfighter pilóták a háború kitörésekor az Egyesült  llamokban voltak kiképzés alatt, haza lettek rendelve, de csak Huntereken repültek. A Starfightereket, a jordániai vezetés kérésére az amerikaiak Törökországba menekítették a háború idejére,  gy az F-104 nem vett r szet a hatnapos háborúban.

További arab egységek

B r a szárazföldön számottevő fegyverarzen llal rendelkeztek az Egyiptom által felfegyverzett palesztin csapatok, de l gierej k nem volt,  gy a hatnapos háború légi hadműveletei szempontjából el lehet tekinteni az egységeik részletes ismertetésétől. Fontos viszont számításba venni Irakot, amely a térség és az Arab Liga egyik sz szol ja volt, és b r nem állt közvetlen szomszéd-ságban Izraellel, mégis r szet vette a harcokban. Az Iraki Légierő (Iraqi Air Force, IQAF) jordániai területek felett átrepülve kapcsolódott be a háborúba és a nagyobb távolságok miatt természetesen a légierő volt a bagdadi kormányzat elődleges ütőereje a zsidó  lammal szemben. Az Iraki Légierő második világháborút követő története kezdetben hasonlított a RJAF történetéhez. Az 1950-es években teljesen a britek képeztek ki és szerelt k fel őket De Havilland Vampire  s Venom, majd 1957-t l a modernebb Hawker Hunter típusokkal. Az iraki helyzet 1958-t l vett radikális változás, amikor egy véres puccsal megdöntötték Feisal király hatalm t³⁸. Ettől kezdve Irak is a

³⁵ Ibid.

³⁶ Ashley, Glenn, and Joe Sewell. *Hawker Hunter in Action*. Carrollton, TX: Squadron/Signal Publications Inc., 1992. Print. p. 15.

³⁷ Cooper, Tom, and Franz Vajda. "Arab Air Forces on 5 June 1967." www.acig.org. 20 Feb. 2008. Web. 17 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

³⁸ Cooper, Tom, Stefan Kuhn, and Brig.Gen. Ahmad Sadik. "Kuwait "Emergency", 1961." *Air Combat Information Group*. N.p., 9 Sept. 2003. Web. 15 July 2017. http://www.acig.info/artman/publish/article_203.shtml

szovjetekt l kezdett rep l eszk z ket v s rolni. A puccs után egy évvel érkeztek az első MiG-15UTI  s MiG-17F gépek a Vampire-ek leváltására. Az IQAF 1961-ben lépett be a szuper-szonikus korszakba, a többi arab államhoz hasonlóan a MiG-19S megvásárlásával, amelyből 40 példányt szereztek be. A Farmer korai példányainak üzemeltetésével Irakban is hasonló problémák voltak, mint a sz rekn l és az egyiptomiaknál,  gy az irakiak sem kedvelték túlságosan a típust, és a megmarad példányokat 1965-ben eladták az EAF-nek. A MiG-19S leváltására sz nt modernebb MiG-21F-13-asok 1963 és 1966 közt érkeztek az országba és 60 db-ot állítottak hadrendbe³⁹. Az, hogy Irak hozzájutott az akkoriban exportra elérhető cs cstechnológi hoz igazán később v lt fontossá. Az izraeli titkosszolgálat a MOSZAD egy bravúros, hosszan tartó és titkos akciójával elérte, hogy egy iraki keresztény pilóta – Monir Radfa –, akit hazájában a vallása miatt hátrányosan megkülönböztettek, dezert ljon a gépével és annak üzemeltetési dokumentációjával együtt 1966. augusztus 16- n. Az   dezert lásával mind az izraeliek, mind az amerikaiak hozzájutottak a szovjetek exportra gyártott legelterjedtebb g péhez. Ez az elsőre kis lépésnek tűnő esemény valószínűleg nagyban hozzájárult ahhoz, hogy a hatnapos háború légi  sszecsapásainak döntő többsége izraeli győzelemmel zárult. Irakban azonban az 1957-es puccs után sem honolt béke, és egy újabb hasonló eseményt követően 1964-t l újra brit fegyvereket vásároltak. Ekkor 45 db Hawker Hunter F.59-et szereztek be 1964 és 1966 között, melyek a brit FGA.9 altípusnak megfelelő k pessegekkel rendelkeztek és csak a t pusmegjel lésben t rtek el. Azonban az Egyesült Királyság nem volt hajlandó a hazai fejlesztésű kétszeres hangsebességre képes English Electric Lightning vadászok eladására,  gy a bagdadi vezetés ismét a szovjetekhez fordult, hogy beszerezz k a MiG-21 akkoriban legmodernebb exportv ltozat t, az FL-t. Ezt 1966-ban meg is rendelték és 1967-ben már hadrendben voltak.

A felépítés és a kiképzés tekintetében az IQAF jórészt a brit mintát követte. Az 1957-es puccs sem változtatott a szerkezeti fel pítésen és a pilóták nagy része a szigetországban szerezte meg a képesítését. Természetesen a MiG típusokra a szovjetek képeztek ki őket, de csak mint fegyversz llítókra tekintettek rájuk és nem akartak szovjet befolyást az országukban⁴⁰.

Harci tapasztalatokkal is rendelkeztek az iraki pilóták. Ugyan  k nem voltak határosak Izraellel,  gy nem a határ menti villong sokban gyűjtöttek tapasztalatot, mint a sz r, jordániai és egyiptomi társaik, de a kurdok ellen 1966-t l  k is számos támadó bevetést hajtottak végre  szak-  s Kelet-Irakban⁴¹.

Az Arab Liga többi országa k z l említést érdemel m g az akkor frissen függetlenné v lt Algéria. A nagy földrajzi távolság miatt értelemszerűen ez az ország is csak a l gierej vel csatlakozott az arab erőkhöz. A mediterrán térség legfiatalabb légiereje volt az algériai, hiszen 1962-ben alapították és csupán 5 éves volt a hatnapos háború idején, azonban a fejlesztésébe sok erőforrást be ltek. A nehéz kezdetekhez az egyiptomiaktól kaptak MiG-15UTI gépeket kiképzésre, majd a Szovjetunió nekik szállított MiG-17F  s MiG-21F-13 vadászokat, és Il-28-as bombázókat. 1967-ben az Algériai L gier  (Algerian Air Force, QJJ) egy századnyi, kik pzésre használt MiG-15-b l, h rom század MiG-17-b l, egy vegyes MiG-19-et  s MiG-21-et is alkalmazó

³⁹ Nicolle, David, and Tom Cooper. Arab MiG-19 and MiG-21 Units in Combat. Oxford: Osprey, 2004. Print. p.11.

⁴⁰ Cooper, Tom, and Franz Vajda. "Arab Air Forces on 5 June 1967." www.acig.org. 20 Feb. 2008. Web. 17 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

⁴¹ Nicolle, David, and Tom Cooper. Arab MiG-19 and MiG-21 Units in Combat. Oxford: Osprey, 2004. Print. p.12.

vad szsz zadb l és két század Il-28as bomb z b l állt, melyek közül szinte a teljes MiG-17  s MiG-21  llom nyt Egyiptomba k ldt k⁴². A gépek azonban csak a Fókusz hadművelet lezajlása után értek Egyiptomba,  gy csupán a Fókusz Hadművelet során elszenvedett veszteségek pótlására tudták őket alkalmazni, ráadásul a Nílus-menti repterekre ezáltal nem is tudtak települni, és  gy a Sínai-félsziget feletti harcokból sem vettek ki a részüket a háború többi napja alatt.

Az Algériai Légierő természetesen szovjet és egyiptomi mintára épült fel, hiszen ez a két ország támogatta a létrejöttében. Ugyan rendelkeztek minimális francia fegyverzettel, de a harcelj r sok terén a szovjet doktrínát követték. Valamennyi harci tapasztalatuk is volt a MiG-17-es típuson a rövid háborújuk miatta, amelyet 1963-ban Marokkóval v vtak⁴³.

Izrael

Az egyes arab országok légierejének bemutatását követően természetesen Izrael légi haderőnem sem maradhat ki a bemutatásból. Mind a szárazföldi haderő – az IDF –, mind a légierő – az IAF – v ltoztos típusokat használt és sok saját fejlesztést is alkalmazott az 1960-as évek derekán. A saját fejlesztéseket jórészt a szükség szülte, ugyanis vagy nem voltak meg a pénzügyi erőforrásaik a legmodernebb, új technika megvásárlásához, vagy politikai okokból nem adták ezeket el nekik. Ugyanakkor ennek pozitív hozadéka is volt, hiszen  gy rákényszerültek a hazai gyártásra, amely hozzájárult az iparuk és gazdaságuk fejlődéséhez. Erre az akkoriban még túlnyomórészt mezőgazdasági termelést folytato országnak nagy szüksége is volt, és természetesen a hazai fejlesztésre és gyártásra fordított összegek is szintén a hazai gazdaságban maradtak.

Az Izraeli Légierő b r merőben más utat járt be a fegyverek beszerzésében, mégis ezek beszerzési ideje és technikai színvonala nagyon hasonló a vezető arab országokéhoz. Az első rep l eszk zeit az IAF 1948-ban m g mindenféle k l nbz  forrásból szerezte be. Volt, amit hivatalosan megv s r ltek, volt amit darabokban csempésztek be és ott szereltek össze, és olyan eszközeik is voltak, amelyeket gazdag külföldi mec nasok ajándékoztak a l t ert küzdő államnak, majd ezeket sportrep l k nt feltüntetve vitt k be az országba. Ennyi k l nbz  állapotú és eredetű repülőgépnek a karbantartása természetesen egy logisztikai rémálom volt  gy, amikor az első arab-izraeli háború véget ért, hozzáláttak a géppark racionalizálásához és a személyi állomány fejlesztéséhez. Az IAF első sugárhajtású gépei Gloster Meteorok voltak, amelyekkel 1953-ban léptek be a sugárhajtású korszakba. Kezdetben k t db Gloster Meteor T.7-es kik pz g pet, majd Meteor F.8-as vad szv ltoztokat szereztek be⁴⁴. A további fejlesztésért azonban már nem Nagy Britanniához, hanem Franciaországhoz fordultak. Ekkor érkeztek a Meteorokn l modernebb, egy hajtóműves Dassault Ouragan gépek, amelyek még a második vonalban, mint vadászbombázók a hatnapos háborúban is fontos r szet vállaltak. A szintén Dassault gyártmányú Myst re IVA követte a sorban az Ouragan-t, amely technikai színvonala tekintetében a MiG-15-el volt egyenértékű. Ezekből a nyilazott szárnyú és a MiG-17-el egyenértékű gépekből először 24 db érkezett Izraelbe 1956.  prilis 11.  s május 23. között, és a szuezi válságban 16 db-ot már nagy sikerrel be is vetettek bel l k ⁴⁵. Ez a típus is szolgált m g 1967 nyarán, de szintén csak a második vonalban, mint t mad g p és nem elfogóvadász.

⁴² Cooper, Tom, and Franz Vajda. "Arab Air Forces on 5 June 1967." www.acig.org. 20 Feb. 2008. Web. 17 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

⁴³ Ibid.

⁴⁴ Efrati, Yoav. *Colors and Marking of the Israeli Air Force*. Bat-Hefer, 2005. Print. p. 19.

⁴⁵ Ibid. p. 24.

A szuezi válság nem csak a Myst re IVA-k alkalmazása miatt volt fontos momentum az IAF történetében, hanem azért is, mert az 1956. októberi tapasztalatok kiértékelésekor gondolta  t a fejlesztési stratégiáját az izraeli vezetés. A lehetőségekhez mérten nagy fejlesztésbe kezdtek és ez a munka alapozta meg a hatnapos háború sikerét. Ian V. Hogy  gy értékeli ezt a folyamatot Az izraeli hadigépezet című könyvében, *„Ha Izrael  llam politikai helyzetére nem is, a Chel Ha' Avir (Izraeli Légierő) sorsa szempontjából jótékony hatásának bizonyult az 1956-os háború”*⁴⁶. Majd alátámasztja a kijelentést miszerint: *„A szárazföldi erőknek nyújtott légi támogatás, illetve az izraeli légtér uralására tett arab kísérletek megakadályozása révén bebizonyították, hogy a légierőnek rendkívül fontos szerepe van Izrael honv delm ben”*⁴⁷. A második arab-izraeli háborúban látott döntő szerepe, a kivívott légifölény és az IDF szárazföldi csapatainak nyújtott légi támogatás hatékonysága nyitotta meg az IAF előtt a források csapjait, és tette lehetővé, hogy modernebb, a kor színvonalának csúcsát képező gepekert szerezzenek be. Hogg szerint a fejlesztésekhez az is hozzájárult, hogy *„Továbbá lassan az is kezdett bebizonyosodni, hogy a jövőben Izrael nem várhatja meg, amíg megtámadják; ki kellett fejleszteniük a megelőző csapásmérés lehetőségét, nem mint kizárólag agresszív stratégiát, hanem mint hatástalanító taktikát.”*⁴⁸ Az elgondolás helyességét végül az 1967. j nusi háború igazolta is. A kitűzött fejlődési ir nyal összhangban újabb géptípus csatlakozott a légierő kötelékéhez 1959 a Dassault Super Myst re B.2 képében, amely a Myst re IVA továbbfejlesztett, ut n get s hajtóművel ellátott utóda, és amellyel Izrael is belépett a szuperszonikus korba. A közel-keleti „adok-kapok” része volt ennek a típusnak a beszerzése is ugyan gy, mint az Ouragan és a Myst re IVA esetében. A Super Myst re B.2 beszerzésével egy időben ugyanis megérkeztek a szintén szuperszonikus MiG-19S-ek Egyiptomba. 1967-re a Super Myst re sem tartozott már a legmodernebb technikák közé, de m g megállta a helyét vadász, és vadászbombázó feladatkörben is. A hazai ipar által továbbfejlesztve, és amerikai hajtóművel ellátva az IAF egészen az 1970-es évek derekáig használta ezt a komoly harcértékű típust. Ahogy a MiG-19-et gyorsan követte a MiG-21 hadrendbe állítása az arab országokban,  gy a Super Myst re B.2-t is elég hamar követte a már 2 Mach sebességre is képes újabb típus. Az akkor még meglévő baráti izraeli-francia viszonyoknak és a Dassault gepekkel szerzett jó tapasztalatoknak megfelelően ez is egy ilyen gyártmány lett, a cég legújabb Mirage IIICJ típusa. A Mirage III-as nemcsak teljesítményben jelentett nagy ugrást a korábbi típusokhoz képest, hanem dbsz mban is. 1962.  prilisa és 1964. j lius a között összesen 70 db vad szv ltozat  IIICJ altípus, valamint 1964. márciusában 2 db IIIRJ taktikai fot felderit  altípus, és végül, de nem utolsó sorban, 1966 és 1968 között további 4 db IIIBJ kétüléses kik pz  Mirage került az IAF k tel k be⁴⁹. Hogy a Mirage III-ak mennyire jó konstrukciók voltak, azt remekül illusztrálja, hogy a hatnapos háború megnyerésében vállalt szerepük mellett, az 1980-as évekig minden izraeli konfliktusból kivett k a részük, sőt az eladott, használt példányok argentin fels gijellel m g tovább repültek, ugyanis az argentinok az 1982-es falklandi háborúban elszenvedett veszteségeiket részben ezekkel p toltt k. Azonban csak a hatnapos háború vesztes glist j t nézve, azt gondolhatja az ember, hogy a Mirage IIICJ nagyságrendekkel jobb volt, mint fő ellenfele a MiG-21F-13, de ez nem teljesen igaz. A két szembenálló géptípus teljesítménye megk z l t leg egyforma volt, bár egy-két részletben ténylegesen a Mirage kerekedett felül. Pusztán a teljesítmény

⁴⁶ Hogg, Ian V. Az Izraeli Hadig pezet - Katonák, Fegyverek, Háborúk. Kaposvár: Holló  s Társa, 1983. Print. p. 56

⁴⁷ Ibid.

⁴⁸ Hogg, Ian V. Az Izraeli Hadig pezet - Katonák, Fegyverek, Háborúk. Kaposvár: Holló  s Társa, 1983. Print. p. 57

⁴⁹ Baker, Nigel. "Dassault Mirage III & Mirage 5/Nesher in Israeli Service." www.acig.org. 20 Feb. 2008. Web. 30 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

 s a nagymagasságú manőverező képesség tekintetében a MiG-21 előnyben volt a francia géppel szemben. F ldk zelben és alacsony magasságon azonban a Mirage manőverező képessége volt jobb és m g egy tulajdonságban kétségtelenül felülmúlta a korai MiG-21-eket: a beépített fedélzeti g p gy ban. Ez az egyik fontos oka annak, hogy a vesztes glist kon ekkora a differencia a két típus között. A Mirage III CJ változata 2 db, fixen beépített 30 mm-es űrméretű DEFA 552 típusú gépágyúval rendelkezett, melyekhez csövenként 125 lőszer járt,  gy összesen egy 250 db-os javadal-maz ssal gazdálkodhatott egy izraeli pil ta⁵⁰. Ezzel szemben a MiG-21F-13 típus exportv ltozat n l, amely az arab l gier kn l is nagy számban volt rendszeresítve 1967-ben, csupán egy db 30 mm-es Nudelmann-Richter NR-30 gépágyú volt megtalálható, amihez csupán 30 db lőszer tartozott szemben a Mirage 250 db-jóval. Ez fegyverek t zgyorsas g t és a lövedékek tömegét is figyelembe véve a gyakorlatban azt jelentette, hogy az NR-30 15 lövedéket tudott kilőni egy átlagos, 1 másodperces tüzelés alatt, amely összesen 6 kg lőszer kilövését jelentette a cél felé. Ezzel szemben a Mirage 2 db DEFA g p gy ja 1 másodperc alatt 40 lövedéket l tt ki és 11 kg „ lmot” indított célba. Figyelembe véve, hogy a korai légiharc rakéták mennyire megbízhatatlanok voltak, amit minden gyártó ország megtapasztalta az 1960-as években legyen szó akár a nyugati amerikai, brit, francia, izraeli vagy a szovjet rakétákról, a l giharcok többségében a l gigy zelmeket gépágyúval érték el. Jól alátámasztja ezt, hogy a hatnapos háború számos l gigy zelve k z l mindössze egyetlen egy igazolt győzelem született légiharc rakétával, és az is egy kevésbé fordulékony iraki Tu-16-os bombázó lelövése volt⁵¹. Ezzel szemben a Mirage-ok további 47 arab repülőt l ttek le, 9 saját gép elvesztése  r n⁵². Tovább rontotta az arab légierők helyzetét a legmodernebb MiG-21-es altípus, az FL (PF) esete, ahol a tervez k teljesen elhagyták a beépített fedélzeti gépágyút. Mivel az arab légierők ekkor még külső g p gy kont nerrel sem rendelkeztek ehhez a típushoz,  zert ez a gép csak az infrav ros önirányítású légiharc rak t ira hagyatkozhatott.  gy hiába rendelkezett ez a gép jobb paraméterekkel, mint a Mirage, vagy volt minden időjárási körülmények közt bevethető, mégis a gyakorlati harcértéke m g kevesebb volt, mint a MiG-21F-13-as altípusnak, vagy a m g régebbi MiG-19S  s MiG-17F gépeknek. Ahogy már korábban említtem, a gépágyúk elhagyása nem csak a szovjet tervez k hibája, hanem ugyanebbe a csapdába estek bele az amerikaiak is és nekik is a saját k rukon kellett ezt megtanulni a vietnámi háborúban. A hibára gyorsan rájöttek a szovjet és az amerikai tervez k is és kezdetben egy külsőleg, a törzs alá felfüggeszthető g p gy kont nerrel igyekeztek orvosolni a hibát, de ez az eszköz a harmadik arab-izraeli háborúban m g egy arab országban sem volt rendszeresítve.

Az izraeli légifölény kivívásának fontos tényezője volt m g a kik pz sbeli különbség is. Ezen a téren az IAF személyzete fölényben volt bármelyik szembenálló arab légierő pil ta llom ny val szemben. A kik pz sbeli különbségek téren két elemet érdemes kiemelni az előny illusztrálására. Az első az, hogy az izraeli kiképzés során nagyobb hangsúlyt fektettek a manőverező légiharcra, mint az arab l gier kben. Egyr sz t ez annak is köszönhető, hogy a szovjet típusokra az arab pilóták csak alapsz nt  kiképzést kaptak a Szovjetunióban. Az elképzelésnek megfelelően elfog v d sz feladatkörben, a földi irányítás r vezet s vel és rakétával harcolva k zdt k volna le az ellenséget. Fontos hangsúlyozni, hogy ez alapvetően nem hibás elgondolás. A Szovjetunió

⁵⁰ Aloni, Shlomo. *Mirage III vs MiG-21: Six Day War, 1967*. Vol. 28. Oxford: Osprey, 2010. Print. Duel. p.27.

⁵¹ ACIG Team. "Israeli Air-to-Air Victories in 1967." www.acig.org. 11 May 2009. Web. 30 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content Letöltve: 2017. november 5.

⁵² Efrati, Yoav. *Colors and Marking of the Israeli Air Force*. Bat-Hefer, 2005. Print. p. 33.

szibériai területein az esetlegesen támadó amerikai B-52-es bombázók ellen megfelelő elképzelés volt a GCI (Ground-Controlled Interception) azaz a földről irányított elfogás, azonban a közeli légi közelharcban nem. Másrészt azt is figyelembe kell venni, hogy azon egyiptomi pilóták, akik rendelkeztek harci tapasztalattal, ők ezt nagyrészt Jemenben, a jemeni polgárháborúban szerezték, ahol főleg földi célokat támadtak. Ez a Sínai-félszigeten előrenyomuló IDF csapatok megállításában vagy lelassításában hasznos tapasztalat lett volna, de a Fókusz hadművelet alatt nem. Mindemellett az izraeli pilóták abban is élen jártak, hogy az Ouragan, Mystère IVA és Super Mystère B.2-es gépekkel az arab légierők MiG-15, MiG-17 és MiG-19-es típusait tudták szimulálni. Így az első vonalbeli 101., 117. és 119. IAF Mirage IIICJ századoknál képesek voltak egy megfelelő taktikát kidolgozni az alacsonyabb sebességű, de fordulékonyabb harci gépek ellen⁵³.

Szintén meghatározó tényező lehetett a MiG-21 és Mirage III összecsapások kimenetelét illetően az, hogy 1966. augusztus 16-án az IAF hozzájutott egy valóban kulcsfontosságú információ forráshoz. Ez a már korábban említett dezertált iraki keresztény pilóta Munir Radfa és az ő MiG-21F-13-asa volt. Az IAF 1966. szeptember 13-án elkezdte a MiG-21 átfogó tesztjét. Ennek során először a gép sárkányát és műszereit vizsgálták át. Dicsérték a robusztus építését és az egyszerű szerkezetét, azonban a létfonosságú elemek, mint például a futóművek gumijainak a rövid élettartamát nagy hátránynak tartották. Az átvizsgálást követően 1966 szeptembere és novembere közt pedig a Mirage III-mal hasonlították össze a gépet egy átfogó repülési programban. Ezzel olyan felbecsülhetetlen tapasztalatokat és adatokat szereztek, amelyeket máshogy nem lettek volna képesek megszerezni. Például rájöttek, hogy függőleges emelkedésben a Fishbed jobb teljesítménnyel rendelkezett, mint a Shahak (a Mirage IIICJ izraeli beceneve). Ugyanakkor azt is kitapasztalták, hogy manőverező légiharcban, különösen alacsony magasságon a francia gyártású gép volt fölényben és a Fókusz hadművelet alatt szinte kizárólag ilyenekre került sor. A MiG-21 tesztje által megszerzett adatok nagymértékben hozzájárultak az izraeli légi sikerekhez és feltételezhetően sok zsidó pilóta életét, valamint értékes harci gépet mentettek meg a lelövéstől⁵⁴.

A már-már „sztár” népszerűségnek örvendő Mirage és egyéb vadászbombázó erők mellett érdemes megemlíteni az IAF bombázó erőit is. Bár ezek nem voltak olyan nagyszámúak, mint a vadászok, de szintén kivették a részüket a hatnapos háború sikeréből, különösen a Felső-Egyiptomi légibázisok támadásával a Fókusz hadművelet alatt, majd a háború többi napján a földi csapatok közvetlen légi támogatásával. Izrael nem rendelkezett olyan nagyméretű és teherbírású bombázótípussal, mint az EAF és az IQAF Tu-16-os bombázói. Az IAF támadóerejének gerincét a francia Sud Aviation Vautour II típus alkotta, 3 különböző alváltozatban. A Vautour IIA az alap bombázótípus, a Vautour IIN a minden időjárási körülmények közt bevethető és éjszakai vadász és a Vautour IIB különleges bombázó, amelyet a Francia Légierő, az Armée de l'air igényei szerint atomfegyver célba juttatására fejlesztettek ki. Az IAF kötelékében azonban ezeket a gépeket fotófelderítőkké alakították át⁵⁵. Magát a típust teljes titoktartás mellett szerezték be Izraelben, ugyanis tartottak egy esetleges amerikai vétótól. Úgy ítélték meg, hogy mindenképpen szükségük van egy olyan nagy hatótávolságú típusra, amely megfelelő bombaterhelés mellett is mélyen be tud hatolni az ellenséges területek fölé. Az izraeli légierő, a Vautour beszerzése előtt utoljára a második világháborús veterán De Havilland Mosquito-val

⁵³ Aloni, Shlomo. *Mirage III vs MiG-21: Six Day War, 1967*. Vol. 28. Oxford: Osprey, 2010. Print. Duel. p.37.

⁵⁴ *Ibid.* p.30.

⁵⁵ Dor, Amos. *IAF Vautours*. Vol. 8. Milan: AD Graphics, 2001. Print. The IAF Aircraft Ser. p.12.

rendelkezett ilyen képességgel, a Mosquito fotófelderítők még a távoli líbiai-egyiptomi határt is lefényképezték⁵⁶, azonban a típus utolsó példányát 1957-ben kivonták a hadrendből⁵⁷. A Vautour gépeket ugyanebben az évben rendszeresítették, augusztus 1-én érkezett meg az első példány, azonban a pénzügyi korlátok miatt az eredetileg tervezett nagyobb tétel helyett csak 28 db-ot rendeltek. Ugyan maga a típus nem lett olyan népszerű, mint a Mirage III és Franciaország mellett csak Izrael rendszeresítette, de a közel-keleti harcokban remekül bevált és a hatnapos háborúból is kulcsfontosságú szerepet kapott. Bombákkal megrakodva 2500 km-es hatótávval rendelkeztek, azaz még az 1250 km-re lévő egyiptomi célkra is sikeresen csapást tudtak mérni, majd visszatérni a saját bázisukra⁵⁸. Erre a képességére szükség is volt hiszen a Ramat David légibázistól Egyiptom legfontosabb felső-egyiptomi repülőtere, amely mellesleg a EAF jemeni bevetéseinek egyik kiindulópontja is, Ras-Banas közel 1000 km-re található légvonalban⁵⁹. A bombázó feladatkörön kívül a típus megfelelő alapot biztosított az akkor már egyre inkább fejlődő izraeli repülőiparnak és a mérnököknek is, ahhoz, hogy új modifikációkat hozzanak létre és fejlesztés alatt álló eszközöket teszteljének. Egyedileg alakították át a Vautour IIB változatokat fotófelderítőkké, melyeket BR jelzéssel láttak el és amelyek a bombázó A változatú és az éjszakai vadász feladatkörű N változatú Vautour-okhoz hasonlóan szintén a korábbi Mosquitók és Meteorok feladatkörét vették át⁶⁰. A saját fejlesztésű fotófelderítő felszerelés mellett kifejlesztettek egy speciálisan elektronikai hadviseléshez alkalmazott változatot és ezzel a stílusosan Phantomas nevet viselő géppel egyedülálló elektronikai zavaróképességgel rendelkeztek a térségben⁶¹. Ez a gép, és a hozzá helyileg kifejlesztett „Yabelet” zavarókonténer felbecsülhetetlen értékűnek bizonyult a hatnapos háborúban, majd a térség további konfliktusaiban is.

A teljes állományt figyelembe véve az IAF 204 repülőeszközzel rendelkezett a háború előestéjén és ezek közül 197 volt hadra fogható állapotban⁶². A már ismertetett elfogóvadász, vadászbombázó és bombázó feladatkörű gépek mellett az IAF rendelkezett még további 14 db másodvonalszintű és akkor már közel 20 éves Gloster Meteorral, valamint 76 db Fouga Magister kétüléses kiképzőgéppel. A szintén francia tervezésű Magisterek eredetileg kiképzőgépeknek lettek ugyan kifejlesztve, de az izraeliek ezeket is felfegyverezték és a földi csapatok közvetlen légi támogatására használták őket. Erre az átmeneti megoldásra azért volt szükségük, mert a limitált számú támadó erőiket lekötötte az arab légierők megsemmisítése és két feladatot egy időben nem tudtak ellátni. Azonban, a háború további napjain a Magisterek mellett természetesen az IAF komoly vadászbombázó és bombázó gépei is kivették a részüket a földi csapatok közvetlen légi támogatásából, különösen a Sínai-félszigeten és a Golán-fennsíkon dúló harcokban. A légierő nagy része a három fő légi bázison, Ramat Daviden, Tel Novon és Hatzoron állomásozott⁶³.

⁵⁶ Rozen, Oren. "De Havilland D.H.98 Mosquito." The Mosquito in Israeli Service. N.p., n.d. Web. 22 July 2017. <http://www.oocities.org/capecanaveral/hangar/2848/mosquito.htm>

⁵⁷ Price, Nigel, ed. "Under the Star of David." Mosquito: A Flypast Special 2009: 83. Print. p.83.

⁵⁸ Dor, Amos. IAF Vautours. Vol. 8. Milan: AD Graphics, 2001. Print. The IAF Aircraft Ser. p.21.

⁵⁹ Kreisler, Zvi. "The Middle East Theatre." The Vautour Pages. N.p., 09 Apr. 2002. Web. 24 July 2017. <http://www.oocities.org/zvika47.geo/arena.htm>

⁶⁰ Dor, Amos. IAF Vautours. Vol. 8. Milan: AD Graphics, 2001. Print. The IAF Aircraft Ser. p.10.

⁶¹ Ibid. p.24.

⁶² Baker, Nigel, and Tom Cooper. "Operation Moked: Destruction of Arab Air Forces." Wwww.acig.org. 11 May 2009. Web. 24 July 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

⁶³ Ibid.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ACIG TEAM. "Israeli Air-to-Air Victories in 1967." [Www.acig.org](http://www.acig.org). 11 May 2009. Web. 30 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content
- [2] Aloni, Shlomo. *Arab-Israeli Air Wars, 1947-82*. Oxford: Osprey, 2001. Print.
- [3] Aloni, Shlomo. *Mirage III vs MiG-21: Six Day War, 1967*. Vol. 28. Oxford: Osprey, 2010. Print. Duel.
- [4] Ahron Bergman. *Israel's Wars*. London: Routledge, 2004. Print.
- [5] Ashley, Glenn, and Joe SEWELL. *Hawker Hunter in Action*. Carrollton, TX: Squadron/Signal Publications Inc., 1992. Print.
- [6] Baker, Nigel. "Dassault Mirage III & Mirage 5/Nesher in Israeli Service." www.acig.org. 20 Feb. 2008. Web. 30 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content
- [7] Baker, Nigel, and Tom COOPER. "Operation Moked: Destruction of Arab Air Forces." www.acig.org. 11 May 2009. Web. 24 July 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content
- [8] Berki, Gábor. "Elektronikai Hadviselés a Hatnapos H bor ban." *Hadmérnök* 6.1. Mar. 2011. Web. 30 Apr. 2017.
- [9] Boda et al. "Fókusz  s egy ttm k d s. A hadtudom ny kutatási feladatai." *Honvédségi Szemle* 2016/3. pp 3-19.
- [10] Cooley, John K. "The War over Water". *Foreign Policy* 54 (1984): 3–26. Web.
- [11] Cooper, Tom. "The Fight for Airfield H-3." *Aeroplane* Aug. 2017: 58-62. Print.
- [12] Cooper, Tom, and Franz VAJDA. "Arab Air Forces on 5 June 1967." [Www.acig.org](http://www.acig.org). 20 Feb. 2008. Web. 17 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content
- [13] Cooper, Tom, Stefan KUHN, and Brig.Gen. Ahmad SADIK. "Kuwait "Emergency", 1961." *Air Combat Information Group*. N.p., 9 Sept. 2003. Web. 15 July 2017. http://www.acig.info/artman/publish/article_203.shtml
- [14] Dor, Amos. *IAF Vautours*. Vol. 8. Milan: AD Graphics, 2001. Print. The IAF Aircraft Ser.
- [15] Dunstan, Simon, and Peter DENNIS. *The Six Day War 1967: Sinai*. Oxford: Osprey, 2009. Print.
- [16] Efrati, Yoav. *Colors and Marking of the Israeli Air Force*. Bat-Hefer, 2005. Print.
- [17] Goebel, Greg. "[2.0] Dumb Bombs (2): Cluster Munitions & Other Bombs." [2.0] Dumb Bombs (2): Cluster Munitions & Other Bombs. 1 Nov. 2004. Web. 15 May 2017. <http://craymond.no-ip.info/awk/twbomb2.html>
- [18] Kreisler, Zvi. "The Middle East Theatre." *The Vautour Pages*. N.p., 09 Apr. 2002. Web. 24 July 2017. <http://www.oocities.org/zvika47.geo/arena.htm>
- [19] Kreisler, Zvi. "The Armament of the IAF Vautours." *The Vautour Pages*. N.p., May 2002. Web. 24 July 2017. <http://www.oocities.org/zvika47.geo/arms-iaf.htm>
- [20] Nicolle, David, and Tom COOPER. *Arab MiG-19 and MiG-21 Units in Combat*. Oxford: Osprey, 2004. Print.
- [21] Oren, Michael B. *Six Days of War: June 1967 and the Making of the Modern Middle East*. London: Oxford UP, 2002. Print.
- [22] Oszetzky Tamás. *Arab-izraeli Háborúk 1848-1982*. Budapest: Zrínyi Katonai Kiadó, 1984. Print.
- [23] Padányi József: *V zkonfliktusok*. Budapest *Hadtudomány* 2015. „E” sz m. http://mhtt.eu/hadtudomany/2015/2015_elektronikus/23_PADANYI_JOZSEF.pdf
- [24] Price, Nigel, ed. "Under the Star of David." *Mosquito: A Flypast Special* 2009: 83. Print.
- [25] Rozen, Oren. "De Havilland D.H.98 Mosquito." *The Mosquito in Israeli Service*. N.p., n.d. Web. 22 July 2017. <http://www.oocities.org/capecanaverah/hangar/2848/mosquito.htm>
- [26] Shlaim, Avi, and William Roger LOUIS. *The 1967 Arab-Israeli War: Origins and Consequences*. Cambridge: Cambridge UP, 2012. Print. p.XIV.
- [27] Springer, Rita A. *Operation Moked and the Principles of War*. Newport, RI: Naval War College, 1997. Print.
- [28] Taylor, John W. R. *Janes All the Worlds Aircraft*. London: Janes Pub. Co., 1983. Print.

PRELUDE TO THE SIX DAY WAR FROM THE PERSPECTIVE OF THE AIR FORCES

The 1967 Six Day War (also referred to as the III. Arab-Israeli War or the 1967 June War) started with a decisive series of aerial strikes. The conflict was practically decided on the very first day with the superbly planned and executed Operation Focus, during which the Israeli Air Force achieved air superiority. It is worth to reexamine the prelude to this successful operation, as the aftereffects of the Six Day War can still be felt in the Middle East today. The aim of this work is to examine the road to the Six Day War by first presenting the mostly political, and partly economic reasons behind the conflict, and then focusing on the air forces of the opposing countries with special attention paid to their development between 1956 and 1967.

Keywords: *air war, Six Day War, Arab-Israeli, Middle East, conflict, prelude, 1967 June*

Ondrék József
Nemzetközi referens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Nemzetközi Kapcsolatok Iroda
jozsef.ondrek.89@gmail.com
orcid.org/0000-0002-1831-5479

József Ondrék
International Officer
National University of Public Service
International Relations Office
jozsef.ondrek.89@gmail.com
orcid.org/0000-0002-1831-5479



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-01-0422_Ondrek_Jozsef.pdf

Ondrék József

A FÓKUSZ HADMŰVELET: LÉGI ESEMÉNYEK A HATNAPOS HÁBORÚ ELSŐ NAPJÁN

Az 1967-es hatnapos háború (más néven a III. arab-izraeli háború vagy 1967-es júniusi háború) egy döntő légi-csapás sorozattal kezdődött el. A konfliktus gyakorlatilag az első napon eldőlt az alaposan megtervezett és végrehajtott Fókusz hadművelettel, aminek segítségével az Izraeli Légierő döntő légi fölényt vívott k a háború teljes további időszakára. Mivel a régióban továbbra sincs béke, és hatnapos háború utóhatásai máig érezhetőek a Közel-Keleten, ezért érdemes a hadműveletet újra megvizsgálni. A tanulmány első felében bemutatom a villámháborús terv kidolgozásának okait, majd részletesen ismertetem a Fókusz hadművelet végrehajtását és a hatnapos háború első napjának valamennyi légi eseményét.

Kulcsszavak: légiháború, arab-izraeli, konfliktus, hatnapos háború, 1967. június, első nap, Fókusz hadművelet, első nap

A FÓKUSZ HADMŰVELET ÉS A VILLÁMHÁBORÚS TERVEK OKAI

A hatnapos háború 1967. június 5-én reggel jeruzsálemi idő szerint 7:45-kor, kairói idő szerint 8:45-kor tört ki. A nevéből értetődően a harcok mindössze hat napig tartottak, azonban ezalatt az idő alatt gyakorlatilag folyamatosak voltak az összecsapások legalább egy fronton. A harcok során Izrael kiválóan alkalmazta a villámháborús stratégiáját és legyőzte minden arab ellenfelét, nem kis részben az első nagyon végrehajtott sikeres légi hadműveletnek köszönhetően. A villámháborús tervek, beleértve a megelőző csapást, azaz a Fókusz hadműveletet is, alapvetően három okból nyújtottak jó megoldást a zsidó államnak. Elsősorban tisztában voltak vele, hogy ugyan kiképzési és hírszerzési fölényük van, de az eszközeik tényleges technikai fölénye nem olyan jelentős, így minél hamarabb, lehetőleg még a földön meg akarták semmisíteni a számbeli fölényben lévő arab légierőket, még mielőtt tömeges légi összecsapásokra kerülhetne sor. A másik ok, amely a villámháborús terveket helyezte előtérbe gazdasági volt. Az izraeli védelmi erőik nem tarthatták túl sokáig készütségben a tartalékosokat, hiszen minden megfelelő korú nő és férfi is katona volt, és az ő szolgálataikkal gyakorlatilag megállt az ország civil élete és gazdasága. Természetes az is, hogy a kisebb létszámú haderővel és csekélyebb pénzügyi erőforrásokkal rendelkező Izrael, igyekezett volna gyorsan döntőre vinni egy konfliktust, hiszen a tartalékai is végesek voltak, különösen a látszólag hatalmas emberi és anyagi tartalékokkal rendelkező Egyiptommal szemben. A valószínűsíthető harmadik ok, amely a villámháborús stratégia mellett döntésre ösztönözte Moshe Dayan védelmi minisztert, Yitzhak Rabin vezérkari főnököt és a Mordechai Hodot a légierő vezetőjét a külső politikai nyomás volt. A légi hadműveletekre fókuszálás miatt a politikai és katonapolitikai okok feltárására nincs lehetőség, de a haditerv kidolgozására és végrehajtására is igen nagy befolyása volt a világpolitikának. Az 1956-os szuezi katonai akciót látva, az várható volt, hogy az ENSZ, valamint az Egyesült Államok és a Szovjetunió mind nyomást fognak gyakorolni a felekre a nyílt ellenségeskedés mielőbbi beszüntetéséért. A szovjet szándékot nehéz pontosan feltárni, azonban az biztos, hogy a Vietnamban lekötött Egyesült Államoknak semmilyen érdekét nem szolgálta egy közel-keleti

konfliktus és ennek megfelelően Johnson elnök és apparátusa minden meg fog tenni a háború megakad lyoz s ert, vagy ha ez nem sikerül, akkor legalább a harcok mielőbbi bes ntet s ert. Ilyen körülmenyek mellett Izraelnek gyorsan döntésre kellett vinnie az eseményeket.

A FÓKUSZ HADMŰVELET  S A LÉGI HARC CSELEKMÉNYEK A HATNAPOS HÁBORÚ ELSŐ NAPJÁN

A közel-keleti térség egyik legrövidebb, de mégis legmeghatározóbb konfliktusa – a hatnapos háború – a Fókusz hadművelettel kezdődött 1967. június 5- n, jeruzsálemi idő szerint 7:45-kor, kairói idő szerint 8:45-kor. Ekkor vette kezdetét az izraeli megelőző csapás, amely egyben el is döntötte a háború további kimenetelét, olyan els pr  siker volt. Az első bombák pontban 7:45-kor csapódtak a célként kijelölt egyiptomi repterek betonj ba, de a harci cselekmények már néhány perccel korábban, 7:15-kor elkezdődtek. Ekkor szállt fel az IAF egy Vautour g pp rja melynek a feladata „az egyiptomi légvédelem rádióelektronikai eszközeinek zavarása volt”¹. Ezek közül az egyik a különleges berendezésekkel felszerelt híres „Phantomas” volt, és mindkét gép szárnya alatt fel volt függesztve k t  darab hazai fejlesztésű Yabelet ECM (Electronic Countermeasure), magyarul elektronikai zavaró konténer. Mindkét gép az egyiptomi légtérben a Sínai-félsziget, a Szezi-csatorna és a Nílus delt ja felett tevek nykedett, aktív zavarást végezve több mint 2  ra hossz ig. Addig, amíg a Fókusz hadművelet utolsó t mad g pe haza nem t rt². A „Yabelet” konténernek az egyiptomi és szíriai l gt rellen r z  radarok és a légvédelmi t z rs g t z vezet  radarjainak a zavarására volt kifejlesztve, és bár az egyik gép berendezése nem működött tökéletesen, de az izraeli g pveszt seket látva,  gy is kijelenthető, hogy megfelelő hatásfokkal blokkolták az egyiptomi l gv delmet³. A „Yabelet” konténer és a Vautour, mint elektronikai zavar platform használata nagyban hozzájárult a hadművelet sikeréhez, és azért is fontos része a hatnapos háború részvevőinek, mert a hadviselő feleknél ez volt az egyetlen elektronikai hadviselésre kifejlesztett eszköz. A Vautour fotófelderítő gépek is nagyban hozzájárultak a támadás előkészítésének sikeréhez, majd a bevetéseket követő értékeléséhez, azonban az IAF 119. százada rendelkezett k t  Mirage IIIRJ harcászati felder t vel⁴, sőt az EAF-nek is voltak fotófelderítő Il-28-asai,  gy ez a felderítő k pessege a Vautour-oknak nem volt egyedülálló. Viszont elektronikai zavar tevek ny-s g tekintetében teljesen egyed l ll ok voltak. A zavaró repülések mellett a Fókusz hadművelet első csapására az IAF a bevet het  gépeinek gyakorlatilag a teljes állományát bevetette, és csupán a hazai légtér védelmére hagytak hátra régi Gloster Meteor gépeket. A teljes er bedob s mellett az időzítést sem bízták a véletlenre. A megfelelő előkészítésnek és kiváló hírszerzésnek köszönhetően, sikerült egy olyan időpontot választaniuk a támadásra, amikor gyakorlatilag a teljes egyiptomi légierő a földön tartózkodott. A minden kora reggel magasba emelkedő egyiptomi MiG-21-es  rj rat már leszállt, de a d el tti váltásuk m g nem szállt fel. Emellett a gépek személyzete sem volt m g harckész. M g vagy reggeliztek, vagy a reggeli csúcsforgalomban próbáltak eljutni a repter kire,  gy látható, hogy a MOSZAD és az izraeli hírszerzés inform torai

¹ Berki, Gábor. "Elektronikai Hadviselés a Hatnapos H bor ban." Hadmérnök 6.1. Mar. 2011. Web. 30 Apr. 2017.

² Dor, Amos. IAF Vautours. Vol. 8. Milan: AD Graphics, 2001. Print. The IAF Aircraft Ser. p.16.

³ Kreisler, Zvi. "The Armament of the IAF Vautours." The Vautour Pages. N.p., May 2002. Web. 24 July 2017. <http://www.oocities.org/zvika47.geo/arms-iaf.htm>

⁴ Baker, Nigel, and Tom Cooper. "Operation Moked: Destruction of Arab Air Forces." Wwww.acig.org. 11 May 2009. Web. 24 July 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

tökéletes időpontot választottak. Az egyiptomi pilóták  gy tulajdonképpen a földön vesztegelve kellett, hogy v gign zz k a g p k pusztulását, vagy sok esetben mire a rep l b ziszokra értek, már megsemmisültek a g peik és a felszállópályák.

A körültekintően kiválasztott reggeli időpont és a nagyszer  Vautour gépek elektronikai zavarása mellett m g egy véletlen szerencsés mozzanat is segítette a hadművelet sikerét. „Véletlen egybeesés folytán k t egyiptomi parancsnok is – Ali Amer tábornagy, a hadsereg főparancsnoka és Mahmoud Szidki tábornok, a légierő parancsnoka – ezen a napon indult szemlét tartani,  gy a támadás idején éppen félúton voltak a levegőben Kairó és a Sínai-félsziget között”⁵. Majd Hogg alá is támasztja, hogy miért is volt ez szerencsés szituáció az IAF számára, hiszen, „hogy elker lj k a téves azonosításból adódó esetleges baleseteket, a repülési útvonal mentén minden egyiptomi légvédelmi  tegek szigorúan megtiltották, hogy bármilyen repülőre tüzeljen mindaddig, amíg a két parancsnok gépe le nem szállt”⁶. Mégis a szerencse és az elektronikai zavarás mellett sem bízták a támadás sikerét a véletlenre az izraeli vezérkarban, és már az első hullám berep l s t is egy megtévesztő, elkerülő úton vezett k célra. A gépek kirepültek nyugati irányba a Földközi-tenger fölé, majd onnan fordultak délre és repültek be a Nílus-menti ország légterébe. Ez természetesen nem a legrövidebb  t, és nem a leglogikusabb útvonal volt. A gépek  gy gyakorlatilag nyugati és  szak-nyugati irányból mértek csapást az első hullám 10 céljára. Ha ez a sor elővigyázatosságból megtett intézkedés még mindig nem lett volna elég, a támadó gépek a felszállást követően a radarok észlelési magassága alatt repültek,  gy ugyan Jordánia nagy teljesítményű l gt relen r z  radarja jelezte, amikor felszálltak, de az egyiptomi radarok már nem l tt k őket. A nagy sebességgel és rendkívül alacsonyban, a tenger fel l  rke z  gépeket csak a sug rhajt m veik által keltett vízpára árulta el, azonban mire ezt megl tt k az egyiptomi légvédelem katonái, addigra már késő volt⁷. A távolabbi, felső-egyiptomi célokat támadó Vautour kötelékek szintén alacsonyban, a tenger felett repülve k zel tett k meg a céljaikat, azonban itt  rtelemyszer en a Vörös-tenger felett repültek és a támadás iránya is keleti,  szak-keleti volt.

A Fókusz hadművelet első hullámának a célja az egyiptomi légierő megbénítása volt a repülőterek, és ezeken belül is elsősorban a felszállópályák és a repülőeszközök t nkr tetel vel. Ez a hullám 7:45 és 9:00 között összesen 11 (10 tervezett és egy nem tervezett céllal) egyiptomi repülőteret támadott meg. A támadás menetében további részletek emelik ki a gondos kivételezést és a kiváló hírszerzési információkat, valamint felkészülést. Az egyike ezeknek, hogy k z r lag katonai, hadászati szempontból fontos célokat támadtak meg, és nem hozták a pil t ik és g peik épségét veszélybe propaganda célok támadásával. A másik részlet pedig az, hogy az első hullám leginkább a légi b ziszok használhatatlanná tételét célozta meg, és csak ezután t madhatt k a repülőeszközöket. Ennek a folyamatnak a fegyelmezett végrehajtása azért volt fontos, hiszen a felszállópályák használhatatlanná tételével m g azok a gépek sem tudtak a levegőbe emelkedni, amelyek amúgy épségben  tv szelt k volna az első hullámot.  gy a hadművelet második hulláma már teljes egészében a géppark, a légvédelem és a j r lekos infrastruktúra elpusztítására koncentr lhatott, és csak nagyon kismértékben kellett tartania ellenséges elfog vad szokt l. További alátámasztója az alaposan átgondolt tervezésnek az, hogy az IAF egy új fegyvert is bevetett a Fókusz hadművelet alatt. Ezek az úgynevezett RDB (Runway Destruction Bomb – Kifut p lya Romboló Bomba) volt, amelyet a

⁵ Hogg, Ian V. Az Izraeli Hadig pezet - Katonák, Fegyverek, Háborúk. Kaposvár: Holló  s Társa, 1983. Print. p.62.

⁶ Ibid.

⁷ Ulanoff, Stanley M. The Fighting Israeli Air Force. New York: Arco, 1985. Print. p.62.

franciákkal közösen fejlesztettek ki. Ezek annyira  jak voltak, hogy csak 1966 végén kerültek először a csapatokhoz⁸. Ha meg kellene nevezni egy fegyvert, mint az IAF sikerének kov cs t 1967 nyarán, akkor az ECM feladatot ellátó Vautour gépek és az RDB bombák között kellene leginkább választani, b r természetesen a légi harcok „sztárja” a Shahak is említést kellene, hogy  rdemljen. Azonban a Mirage IIICJ-re és az összes többi fegyverre az izraeli arzenálban az arab  llamoknak is megvoltak a maguk szovjet, amerikai vagy brit forrásból beszerzett megfelelőik, de a fentnevezett k t különleges fegyverhez hasonl juk sem volt. Ezek a kifutópálya romboló bombák, amelyet az izraeliek „Papam” bombának neveztek egyedülálló konstrukciók voltak a hatvanas évek derek n⁹. Ez a bomba tette lehetővé, hogy az egyiptomi légierő szinte tényleg teljesen a földhöz ragadjon, s t a támadást követően a helyreállítási munkálatok sem kezdődhetnek meg rögtön, valamint amikor megkezdődtek, akkor is rengeteg időt vettek igénybe a bomba különleges kialakítása miatt. A kialakítása lehetővé teszi, hogy alacsonyan és gyorsan repülve is kioldhass k őket,  gy csökkentve a cél felett töltött időt és javítva a célzás pontosságát is. Ez az  rt is volt fontos, mert a bombák mérete viszonylag kicsi, a legelterjedtebb változata mindössze 70 kg-os volt, igaz egy felf ggeszt  pilonon akár többet is hordozhattak belőlük és a 70 kg teljes tömegből 48 kg-ot tett ki a robbanótöltet, ami arányaiban egészen nagy sz m¹⁰. A bombák szerkezetét tekintve a leoldást követően az amerikai Snakeye megoldáshoz hasonlóan automatikusan egy kis ernyő ny lik ki, amely egyr sztt lelassítja a bombát  gy időt hagyva az eszközt leold  repülőgépnek, hogy kellő távolságra eltávolodjon a bomba robbanása előtt, és ne sérüljön meg repesz vagy akár légnyomás által. M sr sztt ez az ernyő állította be a bombát 60 -os szögbe a föld felé zuhanva. Ekkor lépett működésbe a fegyverbe épített rakétamotor, amely felgyorsította a robbanófejet és áttörte a felszállópályák vastag és kemény betonját. A 70 kg-os bomba egy körülbelül 5 m széles és 1,6 m mély krátert robbantott a betonba, és ezt teljesen fel kellett t lni mielőtt egyáltalán a helyreállítása a felső rétegnek megkezdődhetett volna. Ehhez hozzájárult m g az is, hogy némelyik gy jt ja késleltetve volt, akár 1,5  r val t v bb hátráltatva ezzel a helyreállítási munkálatok megkezd s t¹¹. Mivel a rendszer nagyon új volt, és csak 1966 végén kerültek a csapatokhoz a bombák,  z rt a támadás idejében limitált számban álltak rendelkezésre, körülbelül 250 db létezett belőlük június 5- n¹². A fegyver jó hatásfokát és sikerességét illusztrálja, hogy a hatnapos háború eseményeit árgus szemekkel figyelő  llamok mind hozzákezdtek a maguk kifutópálya romboló bomb j nak kifejlesztéséhez 1967 után. A hatnapos háborúban alkalmazott kifutópálya romboló bombákat sokszor hibásan Matra Durandal RDB-nek azonosítják, ami nem helytálló, azonban az igaz, hogy ezt a fegyvert is a közös francia-izraeli fejlesztés tapasztalatai alapján fejlesztett k ki, és amely olyan jól sikerült, hogy m g az Egyesült  llamok is hadrendbe állította. A „Papam” bombák a Durandal  s nek tekinthetők, a működési elvük megegyezik, de a méreteik eltérnek. Az 1967-es bomb n l több mint kétszer akkora a Durandal¹³. Az első hullám végére az IAF igazoltan 140 repülőgépet pusztított el a földön, és t v bbi 8 légi győzelmet aratott azon EAF gépek felett, amelyek valahogy a levegőbe tudtak emelkedni. Az IAF

⁸ Kreisler, Zvi. The Armament of the IAF Vautours. The Vautour Pages. N.p., May 2002. Web. 24 July 2017. <http://www.oocities.org/zvika47.geo/arms-iaf.htm>

⁹ Ulanoff, Stanley M. The Fighting Israeli Air Force. New York: Arco, 1985. Print. p.59.

¹⁰ Kreisler, Zvi. "The Armament of the IAF Vautours." The Vautour Pages. N.p., May 2002. Web. 24 July 2017. <http://www.oocities.org/zvika47.geo/arms-iaf.htm>

¹¹ Ibid.

¹² Ulanoff, Stanley M. The Fighting Israeli Air Force. New York: Arco, 1985. Print. p.59.

¹³ Goebel, Greg. "[2.0] Dumb Bombs (2): Cluster Munitions & Other Bombs." [2.0] Dumb Bombs (2): Cluster Munitions & Other Bombs. 1 Nov. 2004. Web. 15 May 2017. <http://craymond.no-ip.info/awk/twbomb2.html>

gy zelmek k z l egy sem született leveg -leveg  rak t val, hanem mindet a 30 mm-es DEFA g p gy val szereztek. Az IAF  sszesen 10 gépet veszett, melyek közül 4-et l ttek le légi harcban¹⁴. B r voltak olyan egyiptomi egységek, akik a hulló bombákkal dacolva hősiesen felvették a harcot, akár a szerviz utakról felszállva is, de ez jobbra csak szépíteni tudta az eredményt. Az izraeli vezetés számára talán a legfontosabb az volt, hogy az egyiptomi Tu-16KS bomb z kb l mind megsemmisült a Kairó Nyugat (Cairo West) légi bázison. Ezzel megszűnt a közvetlen veszélye annak, hogy az izraeli lakosságot és v rosk zpontokat keletről bombatámadás  rje¹⁵. A megtámadott reptereket mind le kellett zárni, és ezek ki lettek vonva a harcokból, amely a földi hadműveletek megindulásakor különösen fontos volt. Tovább súlyosbította az EAF helyzetét, hogy az 1967 júniusát megelőző er fitogtat  időszakban sok g p ket közelebb hozták Izraelhez,  gy a repterek zsúfoltak voltak és nem álltak rendelkezésre megfelelően kialakított fedezékek és  ll helyek. A sorban álló gépek k ny  célok voltak a jól kiképzett izraeli pilótáknak.

Amint az látható, az izraeli sikernek sok összetevője volt, és ezek közül m g egy fontos akkor világlott ki, amikor az első hullám t mad g pei visszatérek a b zisaikra. Az IAF földi személyzete  gy készítette fel a gépeket a következő bevetésre, mintha egy autóverseny boxutc j ban lennének. Hála a kiképzés magas színvonalának, 8 perc alatt képesek voltak egy visszatért gépet újra felfegyverezni, üzemanyaggal feltölteni és ismételten bevetésre k ssz  tenni. Ez a hatékonyság tette lehetővé, hogy a limitált számú eszközöket maximálisan kihasználják és egy nap számos bevetést hajtsanak végre. A Fókusz hadművelet első csapása csak a kezdet volt, és a teljes haditerv megvalósításához ez a rendkívül gyors felkészítési idő is szükséges volt. Az ilyen módon felk sz t tt IAF gépek akár napi 8 bevetést is rep lhetek, szemben mondjuk a korabeli NATO gépek átlagosan 3 lehetséges bevetésével, vagy az arab légierők m g lassabb felkészítésével. A gyorsan váltakozó t mad hull mokhoz m g az is hozzájárult, hogy amikor már a cél fölött voltak, akkor viszonylag kevés időt töltöttek ott a támadók. Egy támadó bevetés 1 bombázó r csap sb l és további 3–4 g p gy z  r csap sb l állt, amely 5–7 percet eredményezett a célterület felett, a cél nagys g nak és a géptípus teljesítményének függv ny ben¹⁶.

Hála a hatékony felkészítésnek és a percre pontosan kidolgozott tervnek, a Fókusz hadművelet második hulláma 10:00-kor érkezett meg a céljaik fölé, és egészen 12:30-ig tartottak ennek a hullámnak a támadásai. A második hullában részvevő csap sm r knek légvédelmi szempontból valamivel k nyebb helyzetben találták magukat. A meglepetés erejével már nem sz m lhattak,  gy a cs ves egyiptomi légvédelem veszélyt jelentett rájuk, azonban az SA-2¹⁷-es föld-levegő rakéták indítási magassága alatt repültek, valamint a szétbombázott felszállópályák miatt az EAF elfogóvadász egységeitől is csak nagyon kis mértékben kellett tartaniuk. A harcászati fot felder t k, valamint az első hullámból visszatérő pilóták beszámolói alapján az IAF-nek elég hamar nyilvánvalóvá vált, hogy a Fókusz hadművelet első hulláma sikert aratott, még akkor is, ha a pusztítás teljes m rt k t nem tudhatták még ekkor.  gy az IDF, azaz a zsidó állam szárazföldi hadereje is megkezdte a támadást a Sínai-félszigeten, valamint a G zai  vezetben. A légierő azonban továbbra is csak korlátozottan tudta támogatni a földi erőket, ugyanis

¹⁴ Baker, Nigel, and Tom Cooper. "Operation Moked: Destruction of Arab Air Forces." www.acig.org. 11 May 2009. Web. 24 July 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

¹⁵ Springer, Rita A. *Operation Moked and the principles of war*. Newport, RI: Naval War College, 1997. Print. p.8.

¹⁶ Ulanoff, Stanley M. *The Fighting Israeli Air Force*. New York: Arco, 1985. Print. p.60.

¹⁷ SA-2 – Sz-75 Dvina

a második hull mhoz gyakorlatilag m g mindig szinte a teljes támadó arzen lt felhaszn lt k. A háború ezen korai szakaszában csupán egy századnyi Fouga CM-170 Magister oktatóg pet tudtak biztosítani közvetlen légi támogatásra, valamint néhány helikoptert különleges egységek célba juttatására és harci kutató-mentő feladatokra¹⁸. Azonban, mialatt Izrael a Fókusz hadművelet második hull m t hajtotta végre, június 5- n d l körül az is bebizonyosodott, hogy hiába szerettek volna a konfliktust egyfrontos háborúnak megtartani, és a többi arab szövetségest távol tartani a harcoktól, ez lehetetlen volt. Jordánia  s Sz ria is megtámadta Izraelt az Egyiptommal köt t katonai szövetség h z h en. Ehhez az is hozzájárult, hogy a hader iket egyiptomi parancsnokság alá rendelt k, illetve, hogy Egyiptom fals propagandát sugárzott és teljesen hamis információkkal látta el szövetségeseit, miszerint a zsidó támadást visszavert k, s t már  k lendültek ellentámadásba. A légi események tekintetében ez sz r, jordániai és iraki l gicsap sokat is jelentett. Az ellentámadások kezdetén 12 db sz r MiG-17  s MiG-21 támadta meg a deganiyahi gátat és a meggidoi tartalék repülőteret és a haifai olajfinomítót, ahol az utóbbiban k r is esett. A támadást Mirage IIICJ gépek elfogták, és legalább egy¹⁹, egyes források szerint kett ²⁰ MiG-17-est lelőtt Snir százados, a 119. század pilótája. Az iraki légierő támadása nagyobb sikerrel járt. B r a hírszerzési információk nem voltak pontosak, a IQAF 6. századának Hawker Hunter vad szbomb z i  gy is meglepetésként érték az izraeli l gv delmet. Gyakorlatilag bármiféle légi elhárítás nélkül t madhatt k a céljukat 5-en k z l k, ami viszont az izraeliek nagy szerencséjére a hírszerzési hiányosságaik miatt csak a Kfar Sirkin nevű tartalék repülőtér és ejtőernyős kiképzőközpont volt, nem egy fontos légibázis. Az  sszesen elindított 72 db nemirányítható levegő-föld rakétával sikerült megsemmisíteni k egy Nord Noratlas katonai szállítógépet és egy civil tulajdonú Piper Super Cub kisg pet. Az iraki támadók másik 3 gépe légvédelmi ellenállásba ütközött Tel Aviv fölött, ahol MIM-23 Hawk föld-levegő rakétákat indítottak rájuk. Az rakéták nem találtak, de ezek a Hunterek sem találták meg a céljukat,  gy végül veszteség nélkül visszatértek a bázisukra, a H-3-as jelz s  rept rre²¹. A jordániai légierő is támadásba lendült nem sokkal az irakit követően, azonban nekik még ennyi szerencs j k sem volt, mint az irakiaknak. Szintén hibás hírszerzési információkra alapozták a támadást, és a „Netanya” légibázis, amit megtámadni indultak nem is létezett.  gy a feltételezett repülőtér helyén talált civil gyógyszergyárat támadták meg a nem irányított rak t ikkal, ahol egy civil dolgozó életét vesztette, és többen megsérültek. Ahogy ezek a gépek visszatértek, a RJAf újabb további 8 Hawker Huntert emelt a levegőbe. Ezek a gépek viszont már egyenesen belerep ltek az időközben a Sínai-félszigetről átirányított és a keletről érkező arab támadásoktól felocsúdott IAF Mirage vad szokba, melyek le is l ttek egyet a támadók k z l és megakadályozták, hogy végrehajtsák a bevet s k²². Közben a sz r MiG-17-esek is újra támadtak, de a másik két arab államhoz hasonlóan nekik is hibás hírszerzési információik voltak. A Shomron mezőgazdasági repülőteret támadta k t Fresco, itt megsemmisítettek egy célként kihelyezett makett repülőt,

¹⁸ Aloni, Shlomo. Arab-Israeli Air Wars, 1947-82. Oxford: Osprey, 2001. Print. p.49.

¹⁹ ACIG Team. Israeli Air-to-Air Victories in 1967. www.acig.org. 11 May 2009. Web. 30 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

²⁰ Baker, Nigel, and Tom Cooper. Operation Moked: Destruction of Arab Air Forces. www.acig.org. 11 May 2009. Web. 24 July 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

²¹ Cooper, Tom. The Fight for Airfield H-3. *Aeroplane* Aug. 2017: 58-62. Print. p.59.

²² Ibid. p.60.

viszont az izraeli légvédelem az egyik támadót lel tte²³. A háború k d ben egy nem hadviselő f l légi eszköze is áldozatul esett a hatnapos háborúnak. Az arab légi támadásokat megakadályozni kívánó IAF Mirage IIICJ-k elfogtak egy véletlenül izraeli légtérbe tévedt libanoni Hawker Huntert. A libanoni gép nem támadott célokat, azonban a visszaúton a Rayak légi bázisa, ahonnan felszállt mégis lelőtte egy Mirage a Bekaa-völgy f llett²⁴. B r a második hullám végrehajtását a szövetséges arab  llamok támadásai megzavarták, mégis teljes sikert értek el az IAF gépei Egyiptom felett. A célként kijelölt 10 repülőteret mind megtalálták és megtámadták. 107 gépet semmisítettek meg a földön, valamint további legalább 8-at a levegőben, mindet gépágyúval. A veszteséglistára egy g p k került, amelyet viszont egy egyiptomi MiG-21F-13 l tt le R-3Sz légiharc rakétával.

A Fókusz hadművelet harmadik hulláma délután 13  ra előtt néhány perccel kezdődött. Eredetileg ez a hullám is az egyiptomi légierőt támadta volna, gyakorlatilag teljesen megsemmisítve azt, azonban a jordániai, sz r és iraki támadások sem maradhattak válasz nélkül. Az IAF t mad k tel kek nagy része még abban a tudatban szállt fel, hogy a Nílus menti országba kell repülniük, és b r a gépek egy része folytatta is az útját egyiptomi célok felé, de a nagyrészüket a levegőben  tir nyitott k az izraeli l giir nyit k. Az előző hullámhoz hasonlóan szintén 10 repülőteret  rt támadás, de ezek már 4 ország területén, Egyiptom n, Sz ri n, Jord nia n  s Irak n voltak megtalálhatók. Szíriában az al-Mezzeh, Dmeyr, Marj Rayal, Tsaykal, és a T.4 nevű b zisosokat érte támadás, amelynek során körülbelül 50%-a megsemmisült a SyAAF-nek. A sz r repülőtereken főleg az eszközök semmisültek meg és nem a repülőtéri infrastruktúra. Ennek az oka, hogy a már korábban ismertetett kis mennyiségben álltak csak rendelkezésre „Papam” bombák, amiket fel is használt az IAF az EAF repülőterei ellen.  gy a harmadik hullám céljainál már csak az általános felhasználású bombákat, és a levegő-föld rakétákat, valamint a g p gy kat használhatták. A felszállópálya-romboló bombák hiányában viszont a sz r repülőterek tovább  zemelhettek,  gy a g pvesztes gek ellenére is jóval több SyAAF MiG emelkedett a magasba. Ennek következtében az IAF-nek is magasabb lett a vesztesége, egyes források szerint 4 db²⁵, mások szerint 6 db gépet vesztettek²⁶. Többek között a háború első Vautour bombázója is veszteséglistára került, amikor a Dmeyr légibázis felett erős légvédelmi t zbe ütköztek a francia gyártmányú gépek, és a 07-es oldalszámú Vautour IIA találatot kapott²⁷. Az  ltal nossgban elmondható az arab-izraeli háborúkról, és különösen a hatnapos háborúról, hogy pontos számadatok elérése rendkívül nehézkes m g napjainkban is, 50 évvel a háború után.  gy a pontos számok helyett érdemesebb a győzelmet vagy a veszteségek arányát nézni. A harmadik hullám végére a szíriai fronton 61 repülőgépet sikerült igazoltan megsemmis teni k a földön, és további 10-et a levegőben az IAF gépei-nek.²⁸ A l gigy zelmek közül 7 db-ot értek el a modernebb MiG-21F-13-as típus ellen,  s 3 db MiG-17-es vadász ellen történt. Hogy a további vesztes geket elker lj k, a d lut n folyamán a sz riai l gier  hivatalosan „stratégiai tartalék  llapotba” lépett, a megmaradt rep l eszk zeiket pedig  ttelep tettek t volabbi, izraeli hat sug ron k v l es  ter letekre²⁹.

²³ Baker, Nigel, and Tom Cooper. Operation Moked: Destruction of Arab Air Forces. Wwww.acig.org. 11 May 2009. Web. 24 July 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

²⁴ Ibid.

²⁵ Ibid.

²⁶ Ulanoff, Stanley M. The Fighting Israeli Air Force. New York: Arco, 1985. Print. p.60.

²⁷ Dor, Amos. IAF Vautours. Vol. 8. Milan: AD Graphics, 2001. Print. The IAF Aircraft Ser. p.17.

²⁸ Ulanoff, Stanley M. The Fighting Israeli Air Force. New York: Arco, 1985. Print. p.60.

²⁹ Baker, Nigel, and Tom Cooper. "Operation Moked: Destruction of Arab Air Forces." Wwww.acig.org. 11 May 2009. Web. 24 July 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content

Természetesen a jordániai légierő támadásait sem hagyták válasz nélkül, s a harmadik hullám a sz riain l jóval kisebb létszámú jordániai erőket is támadta. Először a Mafr q l gib zist érték csapások 8 db Dassault Myst re IVA  ltal. Itt 13 db Hawker Huntert semmisítettek meg a földön. Az RJAf-nek kett  Huntert sikerült ellen k a levegőbe emelnie, amelyek közül egyben egy pakisztáni önkéntes repült, és amelyek legalább egy Myst re IVA-t lelőttek és m sikakat megrong ltak³⁰. A jordániai gépek az ammani nemzetközi repülőtéren szálltak le, de itt sem ker lhatt k el a pusztulást, ugyanis ezt a helyszínt először 4 db Mirage IIICJ, majd pedig 4 db Ouragan támadta meg a földön megsemmisítve a céljaikat. Délután 3  r ra gyakorlatilag a teljes RJAf megsemmisült, a Hawker Huntereket és m g a másodvonalbeli De Havilland Vampire gépeket is mind találat érte,  gy a Jordán Királyi Légierő gyakorlatilag megszűnt tényező lenni a háború további napjaiban. Ez akkor vált kulcsfontosságúvá, amikor az IDF szárazföldi csapatok ádáz harcot vívtak a jordániai szárazföldi erőkkel és az IDF-nek nagyon komoly,  t k pes légi támogatása volt, amíg az arab katonáknak semmi, és ez döntően befolyásoltak a harcok kimenetelét Ciszjordániában.

A Fókusz hadművelet harmadik hullámának iraki része a H3 vagy más néven az al-Wallid nevű hatalmas, nyugat-iraki repülőteret támadta, azonban itt nem volt olyan els pr  az IAF sikere, mint a többi helyszínen. Ez egy olyan támadás volt, amely egyáltalán nem volt benne a háború előtti haditervben és improviz lt k. A H-3-as komplexum nagy távolsága miatt (kb. 430 km-re van az izraeli Ramat David rep l t rt l³¹)  s azért, hogy az első l gicsap sra a lehető legtöbb bombát magukkal vihess k az iraki repülőteret először a Vautour bombázók támadták. A támadó Vautour köteléket azonban megzavarták a velük együtt a repülőtér fölé  rke z  iraki MiG-21FL elfog v d szok, az IQAF legmodernebb fegyverei. B r a gépágyú nélküli MiG-ek nem tudtak l gigy zelmet elérni, de a csapásmérők sem tudtak ilyen körülmények közt olyan alapos munkát végezni. Szemben a megsemmisített kb. 60 db sz r és 30 db jordániai géppel, itt csak három MiG-21-est, egy Hawker Huntert, valamint egy De Havilland Dove könnyű- és személyszállító, és egy An-12 neh zsz ll t g p lett az irakiak vesztes ge³². Azonban az IQAF köszönhetően elsősorban a nagyobb földrajzi távolságnak, megúszta az első napot komolyabb veszteségek nélkül és a Tu-16-os bomb z flott ja is sértetlen maradt.

Ugyan 1967. június 5-ének a d lut nj ra nyilvánvaló volt a Fókusz hadművelet sikere, de az IAF szeretett volna annyi arab gépet a földön megsemmisíteni, amennyit csak lehet,  gy az eredeti haditerv szerint elindították a hadművelet negyedik hull m t is, amelynek gépei 17:20 és 19:00 között hajtották végre feladatukat. Mivel az első nap d lut nj ra a s nai fronton már teljes lendületében zajlott az izraeli szárazföldi erők előrenyomulása, azért a negyedik hullám részeként már kevesebb zsidó gép vett részt és csak 5 egyiptomi és sz r repülőteret  rt csapás. Az IAF ekkora már főleg a földi csapatok hatékony és nélkülözhetetlen közvetlen légi támogatásával volt elfoglalva.  rtelem-szerűen az eredményei is kisebbek voltak már a negyedik hullámnak. Mindössze egy tucat földön álló sz r repülőgép megsemmisítését jelentették, kett  saját pilóta elvesztése  r n³³.

³⁰ Cooper, Tom. The Fight for Airfield H-3. *Aeroplane* Aug. 2017: 58-62. Print. p.60.

³¹ Kreisler, Zvi. The Middle East Theatre. The Vautour Pages. N.p., 09 Apr. 2002. Web. 24 July 2017. <http://www.oocities.org/zvika47.geo/arena.htm>

³² Cooper, Tom. The Fight for Airfield H-3. *Aeroplane* Aug. 2017: 58-62. Print. p.60.

³³ Baker, Nigel, and Tom Cooper. Operation Moked: Destruction of Arab Air Forces. *www.acig.org*. 11 May 2009. Web. 24 July 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content.

A negyedik hullámmal  rt véget a Fókusz hadművelet. B r az IAF továbbra is tevékeny volt, m g az első nap éjjelén is támogatták a földi csapatokat, valamint a háború további 5 napján is orosz-l nr szt vállaltak a győzelem kivívásában, de ezek már más hadművelet tervei szerint végrehajtott bevetések voltak. A pontos veszteségadatok m g napjainkban sem elérhetők, de a zsidó állam felé elfogultsággal nem vádolható Oszetzky Tamás számításai szerint is legalább a gépeinek k t-harmadát és 100 f t a 350 pil t j b l elvesztett az EAF az első nap folyam n³⁴. A RJAF vesztesége 100%-os volt, és a további eseményekbe már egyáltalán nem játszott szerepet. A SyAAF vesztesége közel 50% lett, és az IQAF is csak azért  lte t l a napot körülbelül 15%-os veszteséggel, mert a gépállomány nagy része nem a H-3-as komplexumban állomásozott, hanem olyan távoli rep l t tereken, amelyek az IDF számára nem voltak elérhetők. Természetesen a repülőgépek és rep l t terek mellett, a légvédelem elemeit is támadta az IAF,  gy csak az első napon huszonhárom egyiptomi radarállomás semmisült meg, ezek közül tizenhat darab a Sínai-f lszigeten³⁵. Ekkora az SA-2-es légvédelmi rak ta t gek ugyan még nem rendelkeztek olyan félelmetes hírnévvel, mint az 1973-as háború alatt, de természetesen a légvédelmi eszközök támadásakor több ilyen  teget is megsemmisítettek, s t még egyet Sz ria nagy hatótávolságú radarjaib l is működésképtelenné tettek. A hatalmas számokban megsemmisített harceszközök mellett azonban a Fókusz hadművelet jelentősége igazán a légifölény kivívása volt. Shlomo Aloni szavaival élve, „A harcok m g további öt napig folytatódtak, j llehet a teljes légi fölény melyet az Izraeli Légierő ért el megnyitotta az utat egy példanélküli izraeli győzelem előtt”³⁶. Az abszolút légifölény kivívása lehetővé tette Izrael számára, hogy az IAF erejét hadászati szinten a hadszíntér bármely pontjára kivet tse. Hadműveleti szinten pedig lehetővé tette, hogy a korlátozott számú g p llom nyukat használva, a lehető leghatékonyabban tudják a szárazföldi csapatokat támogatni, amikor azok maguk is l tsz mf l nyben lévő ellenséggel néztek szembe és a légi támogatás nélkül nem lett volna esélyük a győzelemre. Harcászati szinten a l gif l nynek hála, hatékonyan tudták támogatni a csapatokat, és ami még fontosabb, hogy az ellenség esetleges támadásait időben fel tudták deríteni a levegőből és meg tudták akadályozni azokat, mielőtt azok komoly veszteségeket okoztak volna az IDF-nek. Emellett az ellenség utánpótlását is fel tudták tartóztatni, ezzel is segítve a szárazföldi erőket. Mindezen el ny k mellett természetesen a harctéri logisztikában is elengedhetetlen volt a légi fölény kivívása, hiszen  gy az egyes ejtőernyős egységek célba juttatása is gond nélkül ment, valamint a szükséges utánpótlást szállító repülőgépek is háborítlanul közlekedhettek a k l nbz  frontvonalak között. Végezetül pedig a hírszerzéshez is kulcsfontosságú volt a légi fölény, hogy a fot felderit  gépek a lehető legkisebb veszély mellett v gezz k a feladataik és pontos adatokat tudjanak szolgáltatni. Egyben a légi fölény nyújtotta „csomag” abszolút kulcsfontosságúvá v lt, és gyakorlatilag Izrael ezzel, a Fókusz hadművelet sikerével nyerte meg a hatnapos háborút, már a háború első napján.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az 1967-es hatnapos háború alapvetően megváltoztatta a Közel-Kelet térképét. Csupán hat forró nyári napon keresztül vívták, de a hatása máig érzékelhető a térség politikai életében is. Az arab–izraeli háború közül ez tartott a legrövidebb ideig, mégis talán ennek van a legnagyobb

³⁴ Oszetzky Tamás. Arab-izraeli Háborúk 1848-1982. Budapest: Zrínyi Katonai Kiadó, 1984. Print. p. 130.

³⁵ Ibid. p. 131.

³⁶ Aloni, Shlomo. Arab-Israeli Air Wars, 1947-82. Oxford: Osprey, 2001. Print. p. 50.

jelentősége.  rt kelése, a tapasztalatok feldolgozása és hasznosítása  gy a hadtudomány művelőinek minden időszakban fontos kell legyen³⁷.

A nagyszerűen megtervezett és kivitelezett Fókusz hadművelet már a háború első napján gyakorlatilag eldöntötte a küzdelmet. Az IAF elérte a légi fölényt és a földön semmisítette meg az arab országok légierejének nagy részét. Ezt az akciót m lt n lehet a történelem legjobb végrehajtott hadműveletei közt említeni. A hadviselő felek mindegyike várta a háborút, felkészültek voltak és a katonák kiképzési szintje is többnyire megfelelő volt, azonban a vezetés, hírszerzés és alkalmazkodás terén Izrael volt fölényben. A zsidó állam sajátos helyzetéből adódóan villámháborús tervekre támaszkodott, amelyeket sikerrel végrehajtott és végül megháromszorozta területét, és egészében elfoglalta Jeruzsálemet is. A hadművelet iskolapéldája lehet annak, hogy megfelelő kiképzéssel mennyire meghatározó szerepe lehet a légierőnek a modern háborúkban. Már a kortársak is nagy figyelemmel k s rt k az eseményeket és mindkét tömb levonta a maga következtetéseit a harcok után. A keleti blokk tanúságait az arab  llamok már az 1973-es jom kippuri háborúban alkalmazták, és meg is tudták lepni Izraelt. A nyugati stratégák pedig nyilvánvalóan szintén tanultak ebből a hat napból 1967-ben, elég ha a Sivatai Vihar hadműveletre, vagy Jugoszlávia NATO általi bombázására gondol az ember. Mindkét esetben komolyan előkészített légi hadműveletet vívtak, nagy hangsúlyt helyeztek a légi fölény kivívására. Ugyan Jugoszláviában a dolgok menete meg is állt a l gicsap sokn l, de az első  b l háborúban Irakban gyakorlatilag a hatnapos háború felnagyított változatát hajtották végre az abszolút légi fölény kivívása után végrehajtott gyors szárazföldi hadm veletekkel.

Hadtörténeti szempontból a hatnapos háború fényes győzelem volt, azonban politikai szempontból egyáltalán nem hozott békét a Közel-Keletre, s t még inkább előkészítette a további konfliktusokat. A tűzszünetet követően szinte m g el sem hallgattak a fegyverek, amikor már újra működésbe is léptek az úgynevezett „fel rl  háborúban”. Majd ezt az arab  llamok rev nsa, az 1973-es jom kippuri háború követte, és a sor tovább is folytatodik egészen napjainkig. Az Egyesült  llamok közvetítésével Izrael ugyan Egyiptommal  s Jordániával is békét kötött, de például Szíriával a mai napig nem írtak alá békeszerződést. Emellett a palesztin kérdés is megoldatlan, ahogy azt a 2017-ben ismételten sokasodó összetűzések mutatják. Összességében elmondható, hogy a Fókusz hadművelet meghatározó eleme volt a hatnapos háborúnak. Katonailag fényes győzelem volt, amely azonban a térség alapvető problémáját nem oldotta meg, és a térség napjainkban is politikailag instabil. Jól mutatják ezt azok a konfliktusok, melyek hadtudományi igényességű feldolgozása több tanulmányban is megt rt nt³⁸.

³⁷ Boda et al: Fókusz és együttműködés. A hadtudomány kutatási feladatai. Honvédségi Szemle 2016/3. pp 3-19.

³⁸ A teljesség igénye nélkül: Tomolya János-Padányi József: A műszaki erők alkalmazása az iraki Szabadság Műveletben. Hadtudományi Szemle 2008/3 pp. 34-47; Harc Tikrit rt: fordulópont az Iszlám  llam elleni harcban? Hadtudomány 2015 E-szám pp. 173-193. ; Az izraeli műszaki erők alkalmazása az öntött  lom műveletben. Hadtudományi Szemle 2011/3 pp. 1-13.; A „34 napos” izraeli-libanoni háború Hadtudomány 2011/3. pp 14-34.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ACIG Team. "Israeli Air-to-Air Victories in 1967." www.acig.org. 11 May 2009. Web. 30 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content
- [2] Aloni, Shlomo. Arab-Israeli Air Wars, 1947-82. Oxford: Osprey, 2001. Print.
- [3] Aloni, Shlomo. Mirage III vs MiG-21: Six Day War, 1967. Vol. 28. Oxford: Osprey, 2010. Print. Duel.
- [4] Ahron Bergman. Israel's Wars. London: Routledge, 2004. Print.
- [5] Ashley, Glenn, and Joe Sewell. Hawker Hunter in Action. Carrollton, TX: Squadron/Signal Publications Inc., 1992. Print.
- [6] Baker, Nigel. "Dassault Mirage III & Mirage 5/Nesher in Israeli Service." www.acig.org. 20 Feb. 2008. Web. 30 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content
- [7] Baker, Nigel, and Tom COOPER. "Operation Moked: Destruction of Arab Air Forces." www.acig.org. 11 May 2009. Web. 24 July 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content
- [8] Berki, Gábor. "Elektronikai Hadviselés a Hatnapos Hbor ban." Hadmérnök 6.1. Mar. 2011. Web. 30 Apr. 2017.
- [9] Boda et al. "Fókusz  s egy ttm k d s. A hadtudomny kutatási feladatai." Honvédségi Szemle 2016/3. pp 3-19.
- [10] Cooley, John K. "The War over Water". Foreign Policy 54 (1984): 3–26. Web.
- [11] COOPER, Tom. "The Fight for Airfield H-3." Aeroplane Aug. 2017: 58-62. Print.
- [12] Cooper, Tom, and Franz VAJDA. "Arab Air Forces on 5 June 1967." www.acig.org. 20 Feb. 2008. Web. 17 June 2016. http://www.acig.info/CMS/index.php?option=com_content
- [13] Cooper, Tom, Stefan Kuhn, and Brig.Gen. Ahmad SADIK. "Kuwait "Emergency", 1961." Air Combat Information Group. N.p., 9 Sept. 2003. Web. 15 July 2017. http://www.acig.info/artman/publish/article_203.shtml
- [14] Dor, Amos. IAF Vautours. Vol. 8. Milan: AD Graphics, 2001. Print. The IAF Aircraft Ser.
- [15] Dunstan, Simon, and Peter DENNIS. The Six Day War 1967: Sinai. Oxford: Osprey, 2009. Print.
- [16] Efrati, Yoav. Colors and Marking of the Israeli Air Force. Bat-Hefer, 2005. Print.
- [17] Goebel, Greg. "[2.0] Dumb Bombs (2): Cluster Munitions & Other Bombs." [2.0] Dumb Bombs (2): Cluster Munitions & Other Bombs. 1 Nov. 2004. Web. 15 May 2017. <http://craymond.no-ip.info/awk/twbomb2.html>
- [18] Kreisler, Zvi. "The Middle East Theatre." The Vautour Pages. N.p., 09 Apr. 2002. Web. 24 July 2017. <http://www.oocities.org/zvika47.geo/arena.htm>
- [19] Kreisler, Zvi. "The Armament of the IAF Vautours." The Vautour Pages. N.p., May 2002. Web. 24 July 2017. <http://www.oocities.org/zvika47.geo/arms-iaf.htm>
- [20] Nicolle, David, and Tom COOPER. Arab MiG-19 and MiG-21 Units in Combat. Oxford: Osprey, 2004. Print.
- [21] Oren, Michael B. Six Days of War: June 1967 and the Making of the Modern Middle East. London: Oxford UP, 2002. Print.
- [22] Oszetzky Tamás. Arab-izraeli Háborúk 1848-1982. Budapest: Zrínyi Katonai Kiadó, 1984. Print.
- [23] PRICE, Nigel, ed. "Under the Star of David." Mosquito: A Flypast Special 2009: 83. Print.
- [24] Rozen, Oren. "De Havilland D.H.98 Mosquito." The Mosquito in Israeli Service. N.p., n.d. Web. 22 July 2017. <http://www.oocities.org/capecanaveral/hangar/2848/mosquito.htm>
- [25] Shlaim, Avi, and William Roger LOUIS. The 1967 Arab-Israeli War: Origins and Consequences. Cambridge: Cambridge UP, 2012. Print. p.XIV.
- [26] Springer, Rita A. Operation Moked and the principles of war. Newport, RI: Naval War College, 1997. Print.
- [27] Taylor, John W. R. Janes All the Worlds Aircraft. London: Janes Pub. Co., 1983. Print.

OPERATION FOCUS: AERIAL OPERATIONS ON THE FIRST DAY OF THE SIX DAY WAR

The 1967 Six Day War (also referred to as the III. Arab-Israeli War or the 1967 June War) started with a decisive series of aerial strikes. The conflict was practically decided on the very first day with the carefully planned and executed Operation Focus, during which the Israeli Air Force achieved air superiority for the rest of the whole war. It is worth to reexamine the Operation, as there is still no peace in the region and aftereffects of the Six Day War can still be felt in the Middle East today. In the first part of this article, the aim is to show the strategic reasons behind the blitzkrieg war plan, and subsequent sections contain the detail analysis of the actual execution of Operation Focus, as well as all air operations on the first day of the Six Day War.

Key words: *air war, Six Day War, Arab Israeli, Middle East, conflict, 1967 June, first day, Operation Focus,*

Ondrék József
Nemzetközi referens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Nemzetközi Kapcsolatok Iroda
jozsef.ondrek.89@gmail.com
orcid.org/0000-0002-1831-5479

József Ondrék
International Officer
National University of Public Service
International Relations Office
jozsef.ondrek.89@gmail.com
orcid.org/0000-0002-1831-5479



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-02-0423_Ondrek_Jozsef.pdf

Körmöczi Andor, Horváth Gábor, Vass Csaba, Geretovszky Zsolt

A REPÜLŐGÉPIPARBAN HASZNÁLHATÓ AKKUMULÁTOR CELLÁK ÉS AZOK KÖTÉSEI

Napjainkban a környezettudatos gondolkozásnak köszönhetően nagy hangsúlyt fektetnek a hibrid és a tisztán elektromos repülőgépek fejlesztésére, amelyek az akkumulátorok korlátozott kapacitása miatt csak viszonylag kis távok megtételét/áthidalását teszik lehetővé. Munkánkban egy rövid bevezetőt követően bemutatjuk az ilyen repülőgépek akkumulátor bankjának általános felépítését, összehasonlítjuk a manapság használatos akkumulátorok legfontosabb, releváns paramétereit, a kémijukat, és csomagolásukat. A mérnöki gyakorlat és a szakirodalom alapján sok (néhány száz darab) kis kapacitású (néhány Ah) cella soros, illetve párhuzamos kötésével lehet a repülőgépek számára megfelelő tulajdonságú akkubankot létrehozni. Összefoglaló tanulmányunk felvázolja a cellák lehetséges kötéseit, és a kötéskor használatos anyagokat. Munkánkat az EFOP-3.6.1-16-2016-00014 számú, „Disruptív technológiák kutatásfejlesztése az e-mobility területén és integrálásuk a mérnökképzésbe” című pályázat támogatja.

Kulcsszavak: Repülőgépipar, Elektromos és hibrid repülőgép, Akkubank létrehozása, Li-ion akkumulátor cella, Akkucellák kötése

BEVEZETŐ

Napjainkban a környezettudatos szemléletnek köszönhetően a tudomány számos területén a környezetbarát megoldások egyre nagyobb figyelmet kapnak. Nincs ez másképp a modern járművek fejlesztése kapcsán sem. A közlekedésfejlesztés szempontjából nem elhanyagolható továbbá az sem, hogy a Föld korlátozott mennyiségű fosszilis energiahordozóval rendelkezik. E probléma kiküszöbölése, enyhítése érdekében jöttek létre az új hibrid vagy teljes elektromos meghajtású rendszerek a hagyományos belső égésű motorok kiegészítéseként, alternatívájaként. Mindennapjainkban már tapasztalhatjuk ezen változó tendenciákat, hiszen a piacon számos új elektromos autó (Tesla Motors, Nissan, Honda, Hyundai, Kia stb.) jelenik meg nap mint nap. A repülőiparban ezen irányú fejlődés integrációja még kezdeti fázisban van, hiszen az elektromos meghajtású repülőgépek fejlesztése nagyobb kihívás elé állítja a mérnököket, kutatókat, mint az elektromos autóké. Ennek köszönhetően az elektromos meghajtású repülés fejlesztésében a kisrepülőkön, illetve a kísérleti megoldásokon túl még nem született piacképes megoldás. Az elektromos repülőgépek egyik legfőbb problémája az akkumulátor cellák korlátozott kapacitása, amely miatt csak viszonylag kis távok (~50–100 km) elérése lehetséges [1]. Ebből következően jelenleg a hibrid meghajtású rendszerek a dominánsak a teljes elektromos kivittel szemben. A hibrid járműveknek általában hagyományos (belső égésű) meghajtó rendszere van egy alacsony teljesítményű elektromos segédmotorral támogatva. A jövőre nézve biztató előjelek figyelhetők meg a teljesen elektromos meghajtású repülőgépek fejlesztésében, ugyanis olyan akkumulátor cellák létrehozásán kísérleteznek, mint például a Li-levegő cellák, amelyek elméletileg a manapság legismertebb Li-ion cellák fajlagos energiájától egy nagyságrenddel nagyobb fajlagos energiával rendelkeznek. Azonban ezen irányú fejlesztések még a kezdeti fázisban találhatóak (TRL 4 – laborvizsgálatok) [2].

A legelső elektromos motorral hajtott repülőgép felszállására már 1973 október 21-én került sor Ausztriában. E repülőgépbe az eredeti benzinmotor helyett egy 33 kg tömegű 10 kW névleges teljesítményű eredetileg targoncához használt elektromotort építettek be. A repülőgép hajtását 4 darab Ni-Cd akkumulátor biztosította, amely 12 perces üzemidőt tett lehetővé. Ez alatt a felszállás során elérték a 380 m-es magasságot. Az 1. ábrán az MB-E1 leszállás közben látható [3].



1. ábra: Az első elektromos repülőgép [3]

A 2. ábrán a 2016. áprilisát megelőző időszakban, Kecskeméten kifejlesztett Magnus eFusion típusú kisrepülőgép látható, mely teljesen elektromos hajtással rendelkezik. A gépet egy 28 kg tömegű 45 kW teljesítményű villanymotor hajtja, amely felszálláskor szükséges 80 kW-os teljesítmény leadására is képes. Energiaforrásként egy 8 darab 120 Li-ion cellát tartalmazó akkubankot használtak, amely maximum fél órás üzemidőt tud biztosítani [4]



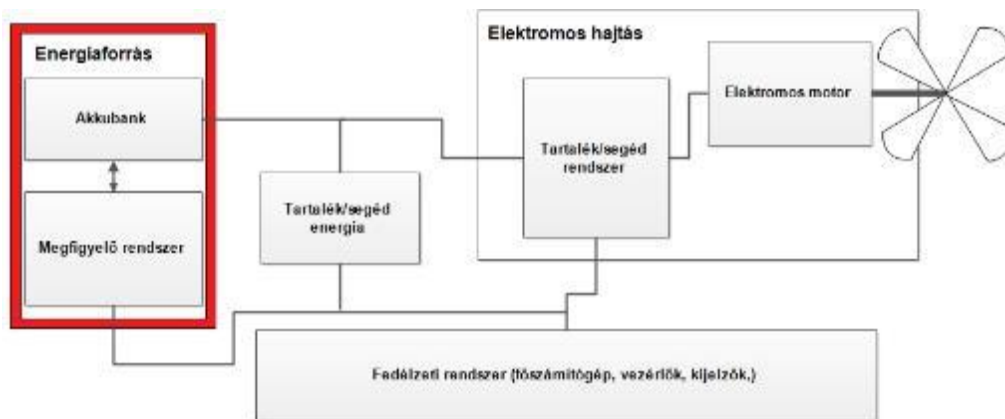
2. ábra Magnus eFusion elektromos repülőgép [4]

A környezettudatosság mellett az elektromos repülőgépek további előnye az olcsóbb a repülőgépgyártás, alacsony üzemeltetési költség, sőt sokkal kisebb zajterhelést kapnak az utasok, mint a hagyományos motorok esetén

2. ENERGIATÁROLÁS

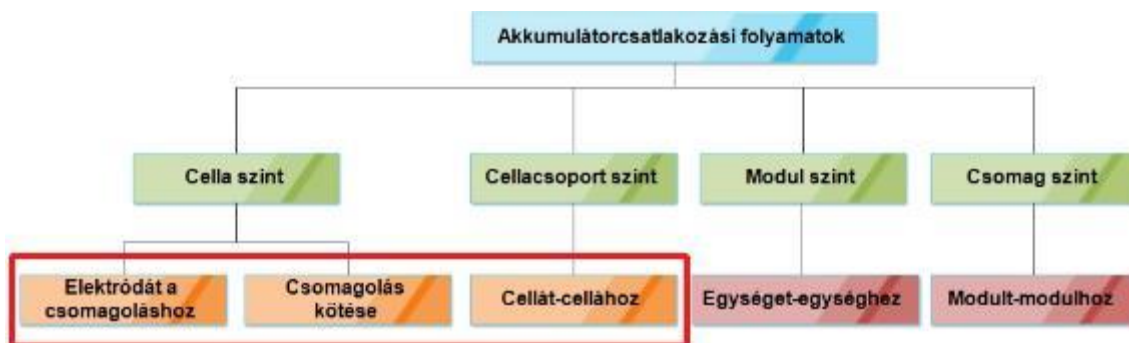
Tanulmányunk a repülőgépek energiatárolási rendszerét egy általános elektromos repülőgépben megvalósított hajtásrendszer blokk vázlatára keresztül szeretné bemutatni [5]. Ez látható a 3. ábrán. Az ábra alapján megfigyelhető, hogy a hajtásrendszer három fő részre bontható: az elektromos hajtásra, a fedélzeti rendszerre és az energiaforrásra. Az elektromos hajtás a motorból,

illetve tartalék/segéd rendszerből áll. A fedélzeti rendszer tartalmazza a fő számítógépet, a vezérlőket, illetve a kijelzőket. Az energiaforrás pedig az akkumulátort és annak megfigyelőrendszerét foglalja magában. Az utóbbi energiaforrás modul akkumulátorbankjának létrehozása képezi tanulmányunk tárgyát.



3.ábra Példa egy elektromos repülőgép hajtásrendszerének blokkvázlatára [5]

A mérnöki gyakorlat szerint az akkubankokat sok egyedi cella összekötésével alakítják ki mely módszerrel egy jól testre szabható, moduláris, könnyen monitorozható rendszert kapunk. A valós idejű monitorozásért az akkumulátor megfigyelőrendszere a felelős, amely általában hőmérséklet mérést (NTC termisztor) és feszültség mérést tartalmaz; a kapott értékeket továbbítja a fő számítógépnek az esetleges meghibásodások kezelése érdekében. A tanulmányunk egyik célja a repülőgépipar számára jelenleg elérhető nagy kapacitású akkubankba köthető kis kapacitású cellatípusok áttekintése, bemutatása, valamint a lehetséges jövőben használatos, ígéretes technikák felvázolása.



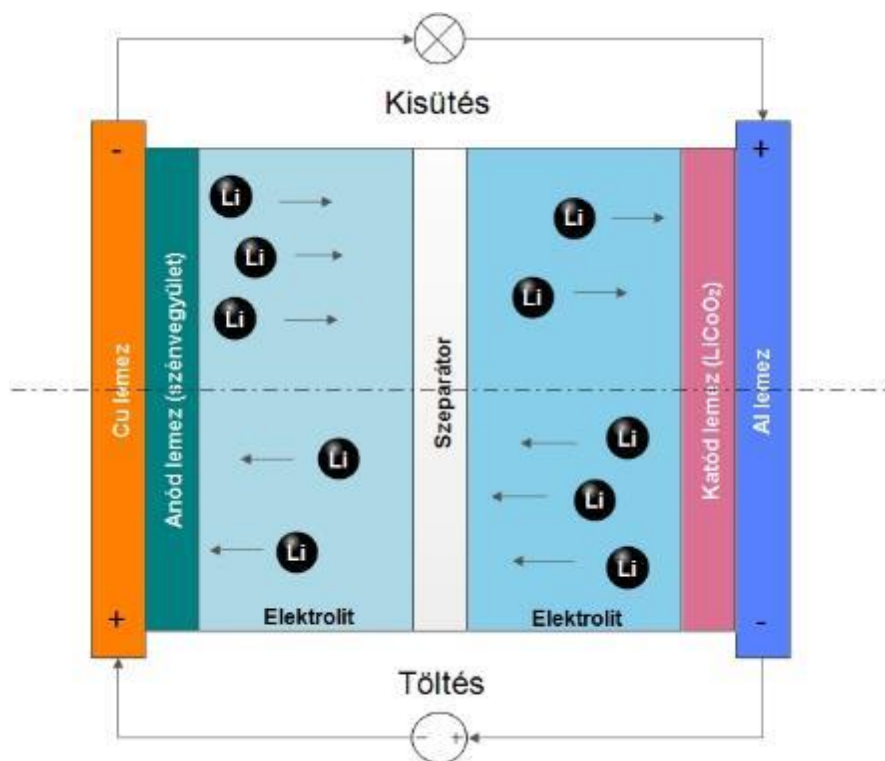
4.ábra Az akkumulátorrendszerek többszintű csatlakozási módjai [6]

A nagykapacitású akkumulátorrendszerek 4. ábrán bemutatott többszintű csatlakozási módszerek alkalmazásával hozzák létre. Figyelembe véve azt, hogy a különböző akkumulátor cellák egyedi műszaki jellemzőkkel rendelkeznek, elmondható, hogy a kapcsolódás különböző szintjein nincs univerzális csatlakoztatási technika. Ennek ellenére általában elmondható az, hogy a csomag (pack level), és modul (module level) szintjén mechanikai csatlakozást (szegecseles, csavarozás), míg ennél „alacsonyabb” (cell, unit level) szinten már finomabb kötéseket (hegesztés, vagy forrasztás) alkalmaznak, ezzel csökkentve az össztömeget, az elektromos ellenállást, és javítva a mechanikai tulajdonságokat [6]. Tanulmányunk másik célja az elemek kötésekor használatos anyagok, és azok kötéseinek áttekintése, összevetése.

AZ AKKUMULÁTOROK KÉMIAJA

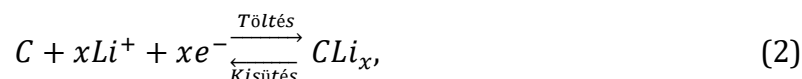
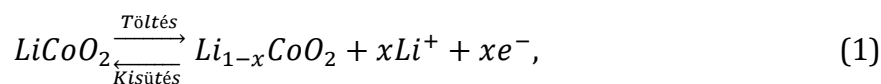
Az akkumulátor a galvánelemek családjába tartozó energiátároló egység. Működési elve szerint töltéskor a villamos energiát kémiai energiává alakítja, ezt ilyen formában huzamosabb ideig tárolni tudja, majd a kisütéskor ezt a kémia energiát villamos energiává alakítja vissza. Ebből kifolyólag közvetlenül csak egyenáram szolgáltatására alkalmas.

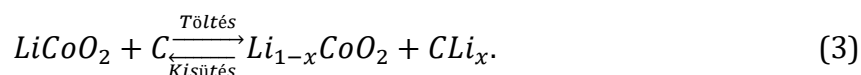
Az akkumulátorok elektródái kisütéskor a töltésszétválasztás miatt lassan átalakulnak. Az elem lemerült állapotba kerül, ha ez az átalakulás teljesen végbement. Töltés esetén azonban, a rákapcsolt feszültség hatására az elektródák eredeti állapotukba térnek vissza, vagyis fordított irányba megy végbe a folyamat, melynek eredménye a feltöltött energiaforrás. Tekintve, hogy az akkumulátorok közül az egyik legnépszerűbb az úgynevezett Li-ion akkumulátor technológia, így ezen a típuson keresztül mutatjuk be a működés kémiai részleteit. A működési elvének sematikus rajza az 5. ábrán látható [7][9].



5. ábra A Li-ion akkumulátor működési elve [7][9]

A Li-ion cella esetén a pozitív elektróda (katód) egy Li oxid, többnyire LiCoO_2 vagy LiMnO_2 , illetve a negatív elektróda (anód) általában szénvegyület, esetleg grafit. Az anódot és a katódot egy szerves folyékony elektrolit választja el egymástól, általában ez LiPF_6 (lítium-hexafluorofoszfát), vagy újabban a kevésbé korrodálódó LiBF_4 (lítium-tetrafluoroborát). A Li-ion elemekben végbemenő kémia folyamatokat a következő egyenletek írják le: (1)-katód, (2)-anód, (3)-teljes elem [7][8][9]:





Jól látható, hogy töltés során a Li-ionok a szénalapú elektródhoz, míg kisütéskor pedig a fém-oxid alapú katódhoz vándorolnak. Innen kapta ez a lítiumion-technológia a nevét is, hiszen a töltéstárolásról a Li-ionok gondoskodnak. A további akkumulátor típusokat az alábbi 1. táblázat foglalja össze a különböző tulajdonságaikkal együtt. A Li-ionhoz hasonlóan a többi típus neve a működési elvére utal. A repülőgépgyártás szempontjából az akkumulátorok legfontosabb tulajdonsága a fajlagos energiája (egységnyi tömegre jutó tárolt energia), hiszen ez határozza meg a repülőgép levegőben való tartózkodásának maximális idejét.

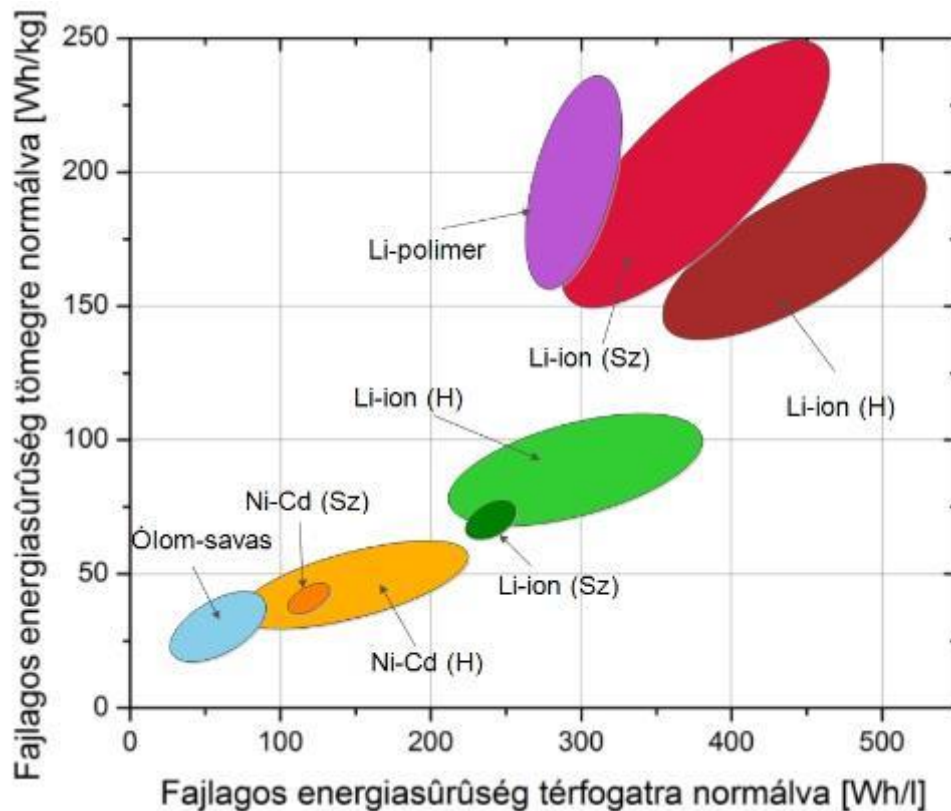
Akkutípus	Fajlagos energia [Wh/kg]	Feszültség [V]	Töltési ciklusok	Ár [\$/Wh]	Töltés/kisütés hatékonysága [%]
Ólom-savas [12]	30-50	2	200-300	56-145	50-92
Li-ion [10]	90-260	3,6	500-1000	356	99,9
Li polimer [10]	100-130	3,7	300-500	356	99,9
Ni-Cd [11]	45-80	1,2	1000	270	75
Ni-MH [11]	60-120	1,2	300-500	297	66
Ag-Zn [12]	250	1,3-1,6	5-200	~500-1000	95
Li-levegő (jövő)[13]	13000 (elméleti)	1,7-3,2	50 (első kis.)	?	?

1. táblázat Különböző típusú akkumulátorok tulajdonságai [10]–[13]

Jól látható, hogy az ólom-savas kémiával rendelkező elem a legkisebb fajlagos energiát szolgáltatja (30–50 Wh/kg). Ezen kívül a töltési ciklusok számában, illetve a hatékonyságban is elmarad társaitól. Az elérhető tulajdonságai ellenére a legalacsonyabb ár miatt még mindig sok helyen használatos technika. Ni-Cd típusú elem már jobb jellemzőkkel rendelkezik, akár 80 Wh/kg fajlagos energiát is el lehet érni ezzel a típussal 1,2 V feszültség mellett. Nagy előnye a magas, akár 1000 töltési ciklus lehetővé tétele. A Ni-MH (Nikkel-metál-hidrid) technikával ezzel szemben nagyobb fajlagos energia (120 Wh/kg) érhető el, de jóval kedvezőtlenebb a maximális töltési ciklusok száma (300–500). Az előzőkkel közel azonos jellemzőket lehet elérni a Li-polimer kémiájú elemcsaláddal. Fajlagos energia szempontjából a két legjobb elemtípus a Li-ion és az Ag-Zn típusú, melyekkel közel 250 Wh/kg fajlagos energia érhető el. Sajnos ez utóbbi két, céljainkhoz előnyös cella ára magasabb a többi akkutípusénál.

A 6. ábra a fajlagos energia szempontjából ábrázolja a különböző akkumulátor családokat [14]. Az 1. táblázat és a 6. ábra alapján a Li-ion, és az ezüst-cink technika tűnik a jelenleg elérhető technikák közül a legjobbnak az elektromos repülőgépipar számára, hiszen azok fajlagos energiája a legnagyobb.

Az ezüst-cink technológia még nem kiforrott akkutípus, jelenleg még csak a hadiparban, és az űrkutatásban használják; ára a legmagasabb a bemutatott típusok közül. További hátránya, hogy sokkal kisebb feszültség kibocsátásra képes, illetve a töltési ciklusok számában is elmarad a Li-ionos technikától.



6.ábra Akkumulátor típusok összehasonlítása [14]

A Li-ionos család közül a Li-alumínium technika 260 Wh/kg fajlagos energia elérésére képes, ami a jelenleg ismert legnagyobb fajlagos energia, amit a tömeggyártásra alkalmas akkumulátor cellákkal el lehet érni. A Li-ion akkuk 3,6 V feszültség leadására képesek, az élettartamuk magas, akár 1000 töltési ciklus is elérhető velük. A töltés során közel 100%-os hatékonysággal tudják az energiát tárolni. Egyedül az ár az, amivel elmarad a többi akkumulátor családtól, hiszen az egyik legjobb tulajdonságú akkutípusról beszélünk. A Li-ion technika további előnyei között felsorolandó az, hogy a lítium a legkönnyebb fémek közé tartozik, így az ebből készült akkumulátorok általában sokkal könnyebbek és tartósabbak is mint a társai. Továbbá nem képződnek a folyamat során kristályok, ezért az elem nem rendelkezik memóriaeffektussal. Ez azt jelenti, hogy nem kell őket rendszeresen tréningeztetni (teljesen lemeríteni, majd teljesen feltölteni), sőt óvni kell őket a teljes kisütéstől. A repülőgép-gyártás szempontjából fontos tulajdonság az is, hogy kevés mérgező anyagot tartalmaznak. E celláknak különböző biztonsági előírásoknak is eleget kell tenniük: ebből következik e cellatípus legnagyobb hátránya: egy védőáramkört kell beleintegrálni, ami a túltöltés során termelődött hő ellen véd [7][8][9]. A sok jó tulajdonsága mellett manapság a repülőgépek számára készült korszerű Li-ionos akkumulátor bankok is kevesebb mint egy órás repülési időt tesznek lehetővé a fajlagos energia értéke miatt.

A jövőre nézve az elektromos repülőgépipar szempontjából tehát a jelenleg ismert akkumulátorok tovább fejlesztésére van szükség. A kutatók, fejlesztőmérnökök biztató eredményekről számoltak be az úgynevezett Li-levegő típusú technikával kapcsolatban, hiszen ezek fajlagos energiájának elméleti értéke elérheti akár a 13 kWh/kg-os értéket, ami megegyezik a benzin, mint üzemanyag fajlagos energia értékével. Ennek ellenére laborkísérletek során még csak 1 kWh/kg-os fajlagos energiát sikerült elérniük ilyen típusú akkumulátorral, illetve az

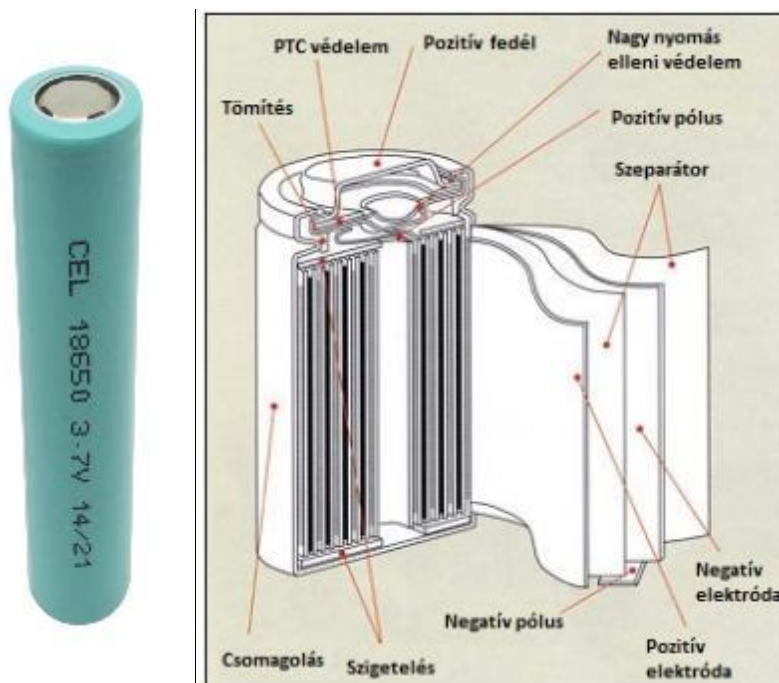
élettartamuk is az 50 töltési ciklust alig éri el, ami valószínűleg jelenleg még instabil kémiai reakciók eredménye. Azonban ezek a fejlesztések még a laborkísérletek szintjén járnak, tehát bőven van benne még fejlesztési lehetőség [2][15].

AKKUMULÁTOROK GEOMETRIÁJA

Az akkumulátorokat nem csak működési elvük szerint tudjuk csoportosítani, hanem geometriájuk alapján is. Így megkülönböztethetünk hengeres, szögletes, tasakos, és gombelem kialakítású cellákat. A gombelemek olcsóak és kicsik, de csak kis feszültség leadására képesek, többségük nem újratölthető, és hosszú feltöltési idővel rendelkeznek [16]. Többek között ezért sem releváns kialakítás az elektromos repülőgépek akkumulátorbankjai szempontjából, így részletesen e típust nem ismertetjük. Valamint ez esetben több kötésre lenne szükség az akkubankok létrehozásához, ami a hibalehetőségek számát növelné.

Hengeres cella

A hengeres cellatípus manapság az egyik legszélesebb körben használt forma az elsődleges (egyszer tölthető) és másodlagos (újratölthető) cellák esetén, hiszen a legnagyobb előnyei közé tartozik a viszonylag egyszerű gyártási eljárás és a jó mechanikai stabilitás. A hengeres cellák a biztonsági előírásnak is eleget tesznek, ugyanis rendelkeznek a felmelegedés elleni védelemmel, nyomáscsökkentő mechanizmussal, és maga a henger alakú cső is ellenálló a belső nyomás okozta deformálódásnak. További előnyei közé sorolható, a hosszú élettartam, töltési ciklusok magas száma, illetve az ára. A hengeres kialakítás miatt a szorosan egymás mellé rendezett cellák térkihasználása sem optimális, valamint e cellák repülőgépeken való használatát a viszonylag nagy tömege is korlátozza. A kis hengeres cellákat általában orvosi, és hordozható számítástechnikai eszközökben használják, míg a nagyobb méretű hengeres cellák a növekvő elektromos járművekben népszerűek [16][17]. A 7. ábrán egy hengeres cella, és annak sematikus rajza látható.



7. ábra Hengeres cella és felépítésének sematikus rajza [16]

A hengeres kialakításon belül a jelenleg három népszerűbb szabványosított modell a 18 650, a 21 700, és a 26 650. E cellák nevesebb gyártóinak legjobb tulajdonságú típusai közül mutat néhány típust és a legfőbb tulajdonságait példaként a 2. táblázat.

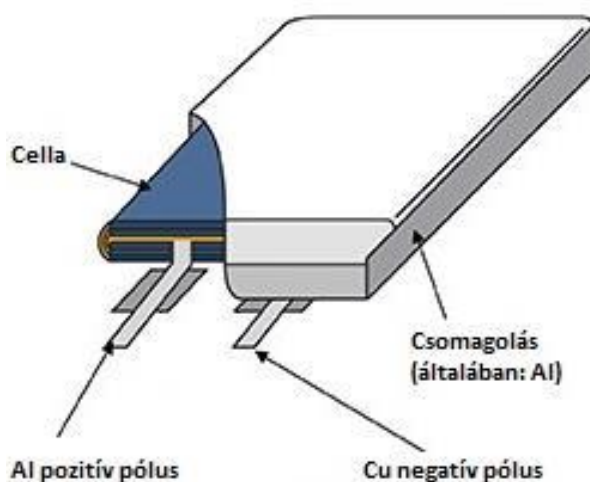
Akkutípus	Kapacitás [mAh]	Feszültség [V]	Tömeg [g]	Fajlagos energia [Wh/kg]
Hengeres 18650 Li-ion (Panasonic) [18]	3200	3,6	47,5	243
Hengeres 18650 Li-ion (LGChem) [19]	3000	3,6	47	230
Hengeres 18650 Li-ion (Sony) [20]	2600	3,6	44,3	211
Hengeres 26650 Li-ion (Panasonic) [21]	5000	3,7	85	218
Hengeres 26650 Li-ion (Energic)[22]	3500	3,6	83	152
Hengeres 21700 Li-ion (IJoy)[23]	3750	3,7	70	198
Hengeres 21700 Li-ion (Samsung)[24]	4800	3,6	67,4	256
Hengeres 21700 Li-ion (Tesla)[24]	4800	3,6	60	296
Szögletes 103450 Li-ion (Panasonic) [25]	2200	3,6	38,3	207
Szögletes 103450 Li-ion (LGChem) [26]	2000	3,7	41	180
Tasakos Li-polimer (A123) [27]	19500	3,3	496	130
Tasakos Li-polimer (Farasis) [28]	25000	3,65	485	188

2. táblázat Nevesebb gyártók legjobb tulajdonságú akkumulátor típusai, és azok főbb paraméterei [18]–[28]

Az elnevezések a cellák méretei utalnak, tehát például a 18650-es esetben a cella 18 mm széles, és 65 mm magas. A 18650-es kialakítás a fent megnevezett három típus közül még mindig a legnépszerűbb, 2013-ban például 2,55 milliárd cellát gyártottak le belőle világszerte. Ezzel a típussal 3200 mAh az elért legnagyobb kapacitás, ami 243 Wh/kg fajlagos energiát eredményez [16]. Számos alkalmazási területe van, kezdve a szerszámoktól, orvosi eszközökön át, egész az elektromos járművekig. A 26650-es modell nem ennyire népszerű, ami a vastagabb kialakításnak, a kisebb kapacitásának és fajlagos energiájának köszönhető. Ennek ellenére ez is széles körben használatos [16]. A 21700-as kialakítás az idei, 2017-es év nagy slágerévé vált, hiszen Tesla gyárban idén júniusban kezdték őket sorozatban gyártani, és várhatóan az új autómódelljükben is már ezt fogják használni. A térfogatnöveléssel 4800 mAh-ás kapacitású cellát hoztak létre az első modellekben, ami közel 300 Wh/kg fajlagos energiát eredményez, ami a 18650-os képest jelentős előrelépés. Meg kell említeni, hogy ezek az értékek az első fejlesztések eredményei, mely a szakértők szerint a további fejlesztések révén elérheti akár a 350 Wh/kg-ot is. Ezen jó fajlagos energia mellett megtartotta a 18650-es főbb előnyét is az egyszerű és olcsó gyártást [24].

Szögletes cella

A hengeres cellákkal ellentétben a szögletes kialakítás kulcsfontosságú előnyei a vékony profil, a viszonylag kis tömeg, hiszen a váza általában alumíniumból készül, és a helytakarékos felhasználási lehetőség. A vékony négyszögletes alakja a terméktervezők számára könnyebb beépíthetőséget biztosít. A szögletes cellákat jellemzően mobiltelefonokban, tabletekben és más elektronikai eszközökben használják. Míg a jó térkitöltésük a szögletes cellákat nagyon vonzóvá teszi, számos hátránya létezik, mint például, hogy az előállításuk költséges, nincsenek szabványosított méretek, kisebb élettartammal rendelkeznek, mivel a hőelvezetésük kevésbé hatékony a hengeres kialakításhoz képest, és viszonylag könnyen deformálódik mechanikai igénybevétel esetén [16][17]. A 8. ábrán egy szögletes cella sematikus rajza látható.



8. ábra Szögletes cella sematikus rajza [29]

Sajnos nem léteznek kifejezetten szabványosított méretezései a szögletes cellacsaládnak, minden gyártó saját maga szabja meg a szükséges méretet; a legelterjedtebb típus a 103450 típusszámú. Hasonlóan a hengeres elemekhez a típusszám itt is a cella méreteit jelöli, tehát példánkban egy 10 mm vastag, 34 mm széles, és 50 mm hosszú a celláról beszélünk. A 2. táblázat e típus két nevesebb gyártójától készült legjobb tulajdonságú celláinak főbb adatait tartalmazza. Megfigyelhető, hogy a szögletes cellák fajlagos energia értékei messze elmaradnak a hengeres kivitel által szolgáltatott értékektől.

Tasakos cella

A szögletes cellák továbbfejlesztése során egy új elemtípust hoztak létre tasakos cella néven. Tulajdonképpen egy szögletes cella, amely elvesztette a merev vázát. Ez a felépítés a leghatékonyabb helyhasználatot teszi lehetővé, illetve így 95%-os belső térkitöltés is elérhető, ami a legmagasabb érték az akkumulátorok között. Ezen felül a fémburkolat eltávolítása további tömeg csökkenést eredményez. Ennek ellenére, ha több cellát szeretnénk összekötni alkalmazni egy tartóra lesz szükség, továbbá a cellák 500 töltési ciklus alatt képesek akár 10%-os térfogat növekedésre is, amit az elrendezésük során figyelembe kell venni. Szögletes kialakításhoz hasonlóan nincs szabványosított cellaméret, minden gyártó saját maga tervezi meg. A tasakos cellák általában Li-polimer kémiával működnek. Továbbá nagy áramot képesek leadni, de kis terhelés és a mérsékelt töltés mellett a legjobbak. Általában autóiipari, és katonai alkalmazásaik vannak [16][17].

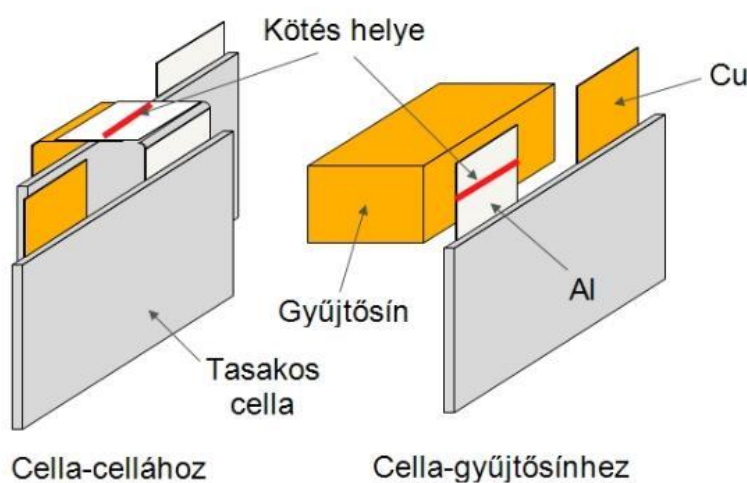
A tasakos cellákat általában a kapacitásuk alapján nevezik el. A 2. táblázat a tasakos cellák két nevesebb gyártójától készült legnagyobb kapacitású celláinak tulajdonságait tünteti fel. A fent említett a123 által gyártott 20 Ah cella méretei: 7,25 mm vastag, 160 mm széles és 227 mm hosszú. Annak ellenére, hogy a fent említett tasakos cellák sokkal nagyobb kapacitással rendelkeznek a többi cellacsaládhoz képest, e cellák rendelkeznek általában a legkisebb fajlagos energiával.

Összegzés I.

Az elektromos repülőgépek szempontjából olyan elemeket kell keresni, amelyek fajlagos energiája, azaz az egységnyi tömegre jutó energiája a legnagyobb. A jelenlegi ismereteink szerint elmondható az, hogy a Li-ion és az ezüst-cink elemek azok, amelyek esetleg megfelelőek lehetnek erre a célra, hiszen azokkal 250 Wh/kg-ot meghaladó fajlagos energia is elérhető. Az ezüst-cink elemtípus más tulajdonságokban jóval elmarad a Li-ion technikától: magasabb árral rendelkezik, továbbá sokkal kisebb feszültség kibocsátásra, és alacsonyabb töltési ciklus elérésére képes. A Li-ion technikák közül jelenlegi állás szerint a 21700-as hengeres modellt érdemes használni, hiszen ezek rendelkeznek a legnagyobb fajlagos energiával, képesek elérni akár a 300 Wh/kg-os értéket is a legújabb Tesla gyártmányú elemek. Azonban ezek még mindig jóval elmaradnak a kőolajszármazékokkal elérhető energia értékektől (13 kWh/kg). A jövőben a Li-levegő technika lehet az, amely megközelítheti ezt a korlátot.

AKKUMULÁTOR CELLÁK KÖTÉSEI, ANYAGAI

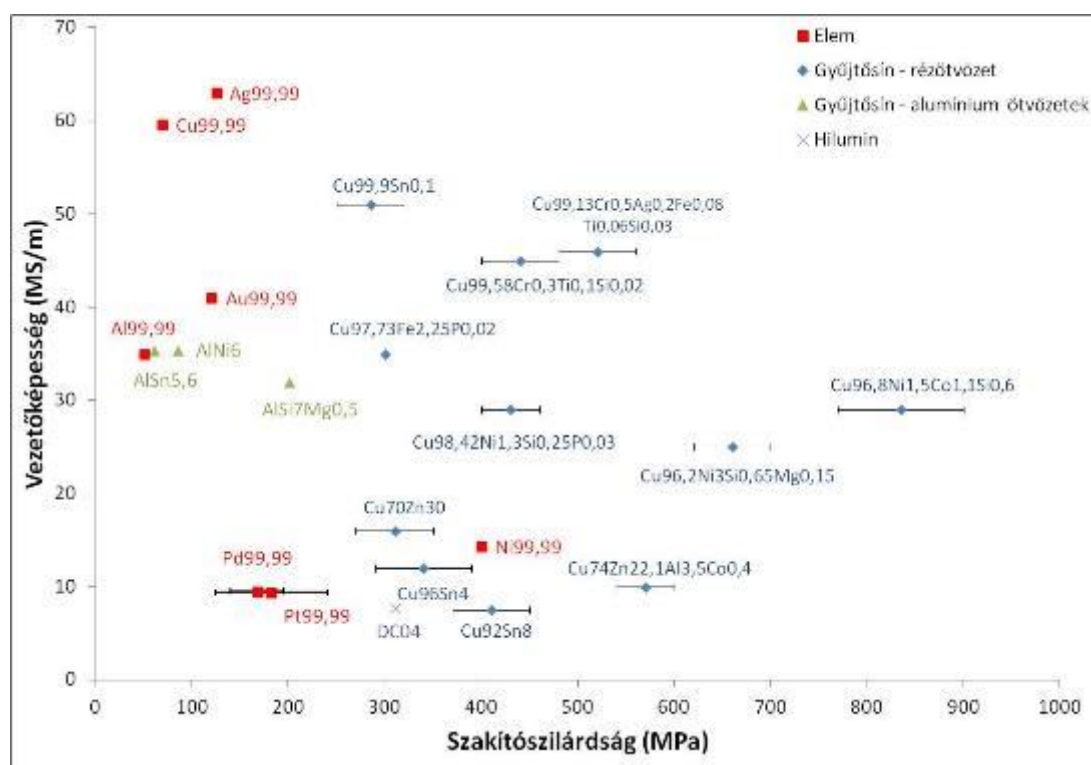
Az elektromos repülő gépek számára elengedhetetlen a nagy teljesítményű akkubank létrehozása, ezt mérnöki tapasztalatok alapján kisebb kapacitású akkumulátor cellák soros, illetve párhuzamos összekötésével lehet létrehozni. Az akkubankok készítése során az elektromos és mechanikai kötések létrehozására ilyen szinten általában hegesztést vagy forrasztást alkalmaznak. A sok kis cella kötését két féle módon szokás megoldani: vagy egymáshoz rögzítik közvetlenül, vagy gyűjtősín segítségével kötik őket össze [30]. A 9. ábra a két kötési mód sematikus ábráját mutatja be.



9. ábra Kötési módok sematikus ábrája [30]

Mindkét eset bonyolult anyagtudományi problémához vezet. Elektromos repülőgépekhez létrehozott akkubankok kötése esetén a felhasznált anyagok egyaránt fontos tulajdonsága a

vezetőképessége és a szakítószilárdsága is, így ezek függvényében a kötések során esetlegesen felmerült anyagok láthatóak a 10. ábrán [31]. A Li-ion hengeres cellák esetében a kivezetéseinek anyaga általában az úgynevezett hilumin, ami egy vékony (1–5µm) nikkel réteggel bevonatolt DC04 acél (0,1–1,2 mm vastag). A DC04-es acél egy vasalapú (Fe) ötvözet, amely maximálisan 0,08% szént (C), 0,03% foszfort (P), 0,03% ként (S), és 0,4% mangánt (Mn) tartalmazhat. Szögletes és tasakos cellák esetén általában az anód anyaga réz (Cu), esetleg nikkel (Ni), a katód anyag pedig alumínium (Al). Gyűjtősínként legtöbbször használt anyagok a réz, valamilyen ötvözetei (bronz), illetve alumínium. Általában elmondható, hogy a réz, és azok ötvözetei jobban teljesítenek vezetőképesség, és szakítószilárdság szempontjából, de az alumínium 70%-kal könnyebb, mint a réz, így általában azokban a rendszerekben, ahol az össztömeg is fontos szempont, érdemes az alumínium alapú gyűjtősín használatának lehetőségét mérlegelni. Azonban léteznek anyagok, amelyek még jobban teljesítenek a vezetőképesség és a szakítószilárdság szempontjából a réznél is, mint például az ezüst, de azok magas áruk miatt nem használatosak ilyen rendszerekben.



10. ábra A kötések során felhasználható anyagok a vezetőképességük és a szakítószilárdságuk szerint [31]

Tehát a kötések során érdemes megvizsgálni a hilumin, a réz, az alumínium, és kombinációinak hegeszthetőségét. Általánosságban elmondható, hogy az anyagok saját magukkal jól köthetőek, így a továbbiakban a kombinációik tulajdonságával foglalkozunk. A 3. táblázat fontosabb fémkombinációk hegeszthetőségét mutatja be.

Jól látható, hogy a réz-vas és a réz-alumínium kötések jól kezelhetők, habár komplex struktúrák megjelenhetnek, és ezek a szakítószilárdságra hatással lehetnek. Ezzel szemben az alumínium és a vas közötti kötést nagy kihívás megfelelően megvalósítani [32]. Ennek oka a nagy eltérés olvadáspontokban (Al – 660 °C és Fe – 1550 °C), és a metallurgiai inkompatibilitás: szinte nincs egymásba való oldódás, rengeteg IMC (intermetallikus vegyület) keletkezik. Az

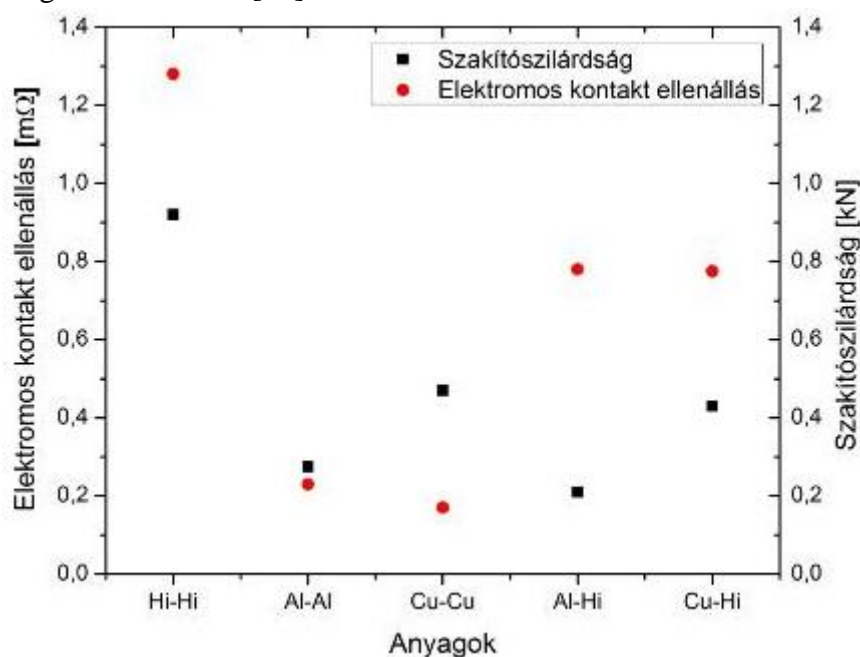
alumíniumban gazdag IMC-k (FeAl_3 , $\text{Fe}_4\text{Al}_{13}$ stb.) rendkívül ridegek és törékenyek. Ez látható a 11. ábrán is, hiszen míg a réz-hilumin kötéssel gyakorlatilag megegyező elektromos tulajdonságú kötés érhető el, addig a mechanikai tulajdonságok szempontjából kétszer gyengébb a kialakult varrat szakítószilárdsága (430, illetve 210 MPa) [33].

	Al	Au	Cu	Pt	Ni	Fe	Ti	W
Al	-	I	K	I	I	I	I	I
Au	I	-	J	J	J	K	I	N
Cu	K	J	-	J	J	K	I	N
Pt	I	J	J	-	J	J	I	I
Ni	I	J	J	J	-	K	I	I
Fe	I	K	K	J	K	-	I	I
Ti	I	I	I	I	I	I	-	I
W	I	N	N	I	I	I	I	-

3. táblázat Fémkombinációk hegeszthetősége

(K-komplex struktúrák létrejöhetnek, I-intermetallikus vegyület, J-jó oldódás, N –nincs elég adat) [32]

Az fentebb leírt IMC-k (alumíniumban gazdag) keletkezésének csökkentése érdekében leggyakrabban szilícium (Si), nikkel (Ni), és cink (Zn) tartamú hozaganyagokkal történő forrasztás lehet a megoldás. Ilyenkor az alumínium inkább a forrasztóanyagokkal képez vegyületet, mint a vassal, így főleg vas tartalmú Al-Fe IMC-k keletkeznek, amelyek összességében jobb mechanikai tulajdonságot biztosítanak [33].



11. ábra Hilumin, alumínium és réz, és azok kötéseinek tulajdonságai [33]

Összegzés II.

Mindent összevetve elmondható, hogy ha cella-cellához való kötést alkalmazunk, agyagtudományi szempontból nem ütközünk akadályba, hiszen anyagok saját magukkal könnyen köthetőek. Továbbá, ha a gyűjtősínes megoldás használunk, akkor a hagyományos gyűjtősínek közül az réz, és azok bronzötvözetei, amelyekkel anyagtudományi szempontból jó kötéseket lehet létrehozni, és ezáltal nagyobb szakítószilárdságú varratot tudunk elérni. Ellenben, ha kisebb

tömegű gyűjtősínekre van szükségünk, alumínium és azok ötvözeteit célszerű használni, azonban ez esetben már hozaganyaggal történő forrasztás segítségével kell létrehozni a kötést.

ÖSSZEFOGLALÓ

A tanulmányban bemutattuk a teljesen elektromos, vagy hibrid hajtású repülőgépek akkumulátor bankjának általános felépítését. Továbbá felvázoltuk az akkumulátorok közül a leggyakrabban használatos Li-ion cella működésének kémiai hátterét, majd összevetettük a jelenleg használt más technikákkal, különböző paraméterek mentén. Ezek után rátértünk a csomagolásuk szerinti csoportosításra, ahol megállapításra kerül, hogy a jelenleg elérhető, és használatos akkumulátor technikák közül a Li-ion elemcsaládból 21700-as konstrukciója az, ami a legjobb megoldást szolgáltathatja fajlagos energia (300 Wh/kg) szempontjából az elektromos repülőgépek számára. Azonban a napjainkban futó kutatásokból adódik, hogy a jövőre nézve talán a Li-levegő cella az, ami a kőolajszármazékok nyomába érhet.

A tanulmány második felében vázoljuk az akkucellák kötések felmerült anyagtudományi megfontolásokat. Az akkubankok készítése során az elektromos és mechanikai kötések létrehozására ilyen szinten általában hegesztést vagy forrasztást alkalmaznak. A cellák egymáshoz való hegesztése során a hialumin, a réz, az alumínium, és azok kombinációjuk kötése merülhet fel. Az egyedüli problémás kötést Fe-Al közötti varrat adja, hiszen ekkor IMC-k keletkeznek. Ebben az esetben legtöbbször a szilícium (Si), nikkell (Ni), és cink (Zn) tartamú hozaganyagokkal történő forrasztás jelentheti a megoldást. E téren a konkrét igények ismeretében jelentős kutatás-fejlesztési munka vár a témán dolgozó kutatókra, mérnökökre a kötési eljárások kifejlesztésében, optimalizálásában.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] I. Gál, I. Jankovics, Gy. Bicsák, Á. Veress, J. Rohács, D. Rohács: Conceptual design of a small 4-seater aircraft with hybrid propulsion system, IFFK 2017 (2017)
- [2] Advanced battery technologies, Techlink, Dan Swanson, [Online] elérhető 2017.11.07., url: <https://techlinkcenter.org/technologies/advanced-battery-technologies/>
- [3] A világ első elektromos repülőgépe, SRY Modellező könyvtár, Benedek – Simó, [Online] elérhető 2017.11.07., url: <http://users.atw.hu/sry/cikk205.htm>
- [4] Magnus Aircraft magyar start-up beszállítója a SIEMENS, Dr. Varga Gábor, [Online] elérhető 2017.11.07., url: <http://www.repulnijo.hu/magnus-aircraft-beszallitoja-siemens/>
- [5] R. Cipin, J. Kadlec, B. Klima, P. Hutak: Battery System for the Airplane VUT 051 RAY, ECS Transactions, 48 (1) 217-222 (2014)
- [6] S. Shawn Lee, Tae H. Kim, S. Jack Hu, Wayne W. Cai, Jeffrey A. Abell: Joining Technologies For Automotive Lithium-Ion Battery Manufacturing – A Review, MSEC2010-341682010, (2010)
- [7] About Li-ion batteries, nexxon, [Online] elérhető 2017.11.07., <http://www.nexxon.co.uk/technology-2/about-li-ion-batteries/>
- [8] Amorphous carbon material for negative electrode of lithium ion secondary battery and nonaqueous secondary battery comprising same, Noriyo ISHIMARU, Takashi Suzuki, Takefumi Kono, US20130244117 A1, (2013)
- [9] Yoshio M., Brodd R.J., Kozawa A.: Lithium-ion batteries (Springer, 2009), ISBN 0387344446
- [10] Summary table of lithium based batteries, Battery university, [Online] elérhető 2017.11.07., url: http://batteryuniversity.com/learn/article/bu_216_summary_table_of_lithium_based_batteries
- [11] Summary table of nickel based batteries, Battery university, [Online] elérhető 2017.11.07., url: http://batteryuniversity.com/learn/article/bu_215_summary_table_of_nickel_based_batteries

- [12] Summary table of alternate based batteries, Battery university, [Online] elérhető 2017.11.07., url: http://batteryuniversity.com/learn/article/bu_217_summary_table_of_alternate_batteries
- [13] Summary table of future based batteries, Battery university, [Online] elérhető 2017.11.07., url: http://batteryuniversity.com/learn/article/bu_218_summary_table_of_future_batteries
- [14] Battery cell comparison, epec, [Online] elérhető 2017.11.07., url: <http://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>
- [15] Future batteries, Battery university, [Online] elérhető 2017.11.07., url: http://batteryuniversity.com/learn/article/experimental_rechargeable_batteries
- [16] Types of battery cells, Battery university, [Online] elérhető 2017.11.07., url: http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_battery_cells
- [17] Lithium-ion Cylindrical cells Vs. Prismatic Cells, Charlie Messina, [Online] elérhető 2017.11.07., url: <http://www.relionbattery.com/blog/lithium-cells-should-i-go-cylindrical-or-prismatic>
- [18] Panasonic, Lithium Ion NCR18650B datasheet
- [19] LGChem, Lithium Ion INR18650HG2 datasheet, 2014.10.13.
- [20] Sony, Lithium Ion US18650VTC5 datasheet, 2013.09.26.
- [21] Panasonic, Lithium Ion NCR26650A datasheet
- [22] Energic, Lithium Ion EC-TN26650HP datasheet
- [23] IJoy, Lithium Ion 21700 Battery datasheet
- [24] The new 21700 format Lithium Cells in 2017, electricbike, [Online] elérhető 2017.11.07., url: <https://www.electricbike.com/new-21700-cells/>
- [25] Panasonic, Lithium Ion NCA103450 datasheet, 2016.06.
- [26] LGChem, Lithium Ion ICP103450 datasheet, 2005.07.28.
- [27] A123 Systems, 20Ah Prismatic Pouch Cell datasheet, 2015.
- [28] Farasis, 25Ah Prismatic Pouch Cell – IMP06160230P25A datasheet, 2011.08.
- [29] Lithium-ion Batter Tabs, Targray, [Online] elérhető 2017.11.07., url: <https://www.targray.com/li-ion-battery/packaging-materials/tabs>
- [30] Tobias Solchenbach, Peter Plapper, Wayne Cai: Electrical performance of laser braze-welded aluminum–copper interconnects, Journal of Manufacturing Processes, 16 183-189 (2014)
- [31] Wieland-Werke AG, Strip for connectors datasheet,
- [32] Katayama S.: Handbook of laser welding technologies, Woodhead Publishing, (2013)
- [33] Philip A Schmidt, Patrick Schmitz, Michael F. Zaeh: Laser beam welding of electrical contacts for application in stationary energy storage devices, Journal of Laser Applications, 28/2 (2016)

BATTERIES FOR AVIATION INDUSTRY AND THEIR BONDING TECHNIQUES

Nowadays, the development of hybrid and full electric aircrafts is gaining more and more attention, due to environmental consciousness. Currently the limited capacity of energy storage systems allows for relatively small flight distances for these airplanes. After a brief introduction, the paper introduces the internal structure of the battery bank. Then, we compare the relevant the battery chemistry and the key packaging parameters of today's most used battery types, especially those that are aviation relevant. Based on the critical review of literature data and engineering practice, the best option is to create a battery pack for aircrafts that consists of many (typically several hundred) small capacity (some Ah) cells, by connecting them in parallel and series. Finally, our study also presents several potential cell bonding technologies and compares the materials used by these processes. The work is supported by the EFOP-3.6.1-16-2016-00014 project, entitled "Research and development of disruptive technologies in the area of e-mobility and their integration into the engineering education".

Keywords: Aviation, Hybrid and full electric aircraft, Battery bank, Li-ion battery, Bonding of battery cells

Körmöczi Andor (MSc) PhD Hallgató Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikai Intézet Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék kandor@titan.physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-3917-4636	Körmöczi Andor (MSc) PhD Student University of Szeged Faculty of Science and Informatics Institute of Physics Department of Optics and Quantum Electronics kandor@titan.physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-3917-4636
Horváth Gábor (MSc) PhD Hallgató Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikai Intézet Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék horvathgabor@titan.physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-6835-4230	Horváth Gábor (MSc) PhD Student University of Szeged Faculty of Science and Informatics Institute of Physics Department of Optics and Quantum Electronics horvathgabor@titan.physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-6835-4230
Dr. Vass Csaba, PhD Tudományos Munkatárs Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikai Intézet Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék vasscsaba@physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0003-1443-3360	Dr. Vass Csaba, PhD Research Fellow University of Szeged Faculty of Science and Informatics Institute of Physics Department of Optics and Quantum Electronics vasscsaba@physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0003-1443-3360
Dr. Geretovszky Zsolt, PhD Egyetemi Docens Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikai Intézet Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék gero@physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-7878-9174	Dr. Geretovszky Zsolt, PhD Associate Professor University of Szeged Faculty of Science and Informatics Institute of Physics Department of Optics and Quantum Electronics gero@physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-7878-9174

A tanulmányt a „Diszruptív technológiák kutatásfejlesztése az e-mobility területén és integrálásuk a mérnökképzésbe” című EFOP-3.6.1-16-2016-00014 projekt támogatja.



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_2/2017-3-03-0424_Kormoczi_Andor_et_al.pdf

Balajti István

AIR SURVEILLANCE RADAR ANTENNA PERFORMANCE MANAGEMENT AT HUNGAROCONTROL

This paper highlights the potential of the antenna performance check, based on the findings of the first and the second Radar Antenna Performance Check test results on four Air Traffic Control radars operated by HungaroControl. This knowledge is important, because antennas and their RADOMEs suffer from ageing, weather conditions, and lightning, scheduled/unscheduled maintenance activities and in some extreme cases, partial upgrades. The graceful degradation of the antenna performance can reach the limit where certain operational conditions may result in catastrophic failures in cases where Built-In Test Equipment (BITE) diagnostics do not cover the antenna. Consequently, the antenna performance has to be checked on a regular basis with special tools.

Keywords: *in situ, near field, far field, antenna performance test, Air Traffic Control*

BACKGROUND

HungaroControl (HC) Mission Statement is “Providing a safe and reliable air navigation service with efficient, environment orientated and transparent operation in our airspace.”

The NSPA Communications, Air and Missile Defence Programme mission is “Provide responsive, effective and cost-efficient “Cradle to grave” project approach. This includes Air and Missile Defence Systems development, acquisition, In-Service support and services such as Radar Engineering, RADAR System Performance Check (R-SPC), Calibration Services, Interactive Electronics Technical Manuals (IETM), and Integrated Logistics Support Solutions.”

The Radar System Performance Check is a periodic measurement of key radar system parameters aimed at maintaining a high standard of performance for modern radar systems after commissioning. The main goals of R-SPC are:

1. Detect system degradation and hidden problems early to avoid catastrophic and costly failures;
2. Support site technical staff in achieving and maintaining high standards of system performance;
3. R-SPC links a series of complex engineering tests, beyond the capability of System BITE utilizing a combination of extensive NSPA radar engineering expertise and specialized test equipment.

NSPA benefits from exclusive radar antenna performance test capabilities due to more than 20 years of R-SPC activities, and has built up experience and related databases [1]. Emerging customer requirements resulted in a need for a major R-SPC test equipment upgrade in the field of antenna measurements in-situ. The new test principles are inspired by the methods used in the industry for antenna testing and qualification (space, telecom, radar) in dedicated test chamber and bulk equipment. NSPA specificities are the compact equipment's, test conducted in situ and implementation acknowledged by scientific IEEE committees.

WHAT IS THE PURPOSE OF THE ANTENNA MEASUREMENTS IN-SITU?

The purpose of this test is to extract the MSSR uplink and downlink horizontal patterns. It is required for verification of the antenna performance, as BITE scope does not usually include the antenna. Specialized requirements are as following:

- Collecting antenna diagrams at any location;
- Failure analysis support;
- Measurements with full transmit power;
- Radar downtime suppression by validated antenna performance checks;
- Reduce cost of the radar maintenance and support.

The traditional method, hereby referred to as Far Field (FF), the MSSR antenna transmit horizontal pattern is measured with the use of a transmitter/receiver device called Radar Field Analyser (RFA), which is operated at a known remote location at least 500 meters away from the radar in the FF region of the antenna. This test requires two engineers, one at the radar and one at the remote position, with established voice communication. The remote position must be within the elevation coverage of the radar in the Far Field and at the same time close enough to attain the required signal strength. Fig.1 shows a remote position of an HC radar site. Weather conditions must be suitable for calibrating measurements such as rain, snow, strong wind is excluded. [2] The advantages of the FF method are:

- Simple in realization (amplitude measurement only);
- Direct overview of the Azimuth Antenna Pattern by recording of Tx/Rx pulses as a function of azimuth.

The shortcomings of the FF method are:

- Highly influenced by environmental driven effects, such as multipath and reflections;
- Lack of flexibility for the elevation angle related measurements.



Fig.1 Remote Position set up [9]

Pass / Fail Criteria of the tests and report format table with systems specific information:

- Beamwidth is within $A1 \pm 10\%$;
- Monopulse lobes are symmetric;
- Amplitude: ± 1 dB;
- Sum Channel peak and Delta channel notch aligned within: ± 0.1 degrees;
- Sidelobe levels are less than A2;
- SLB/RSL/Omni channel covers sidelobes.

Parameters	Specified	MSSRx-NF Nov 2014	MSSRx-FF Nov 2014	MSSRx-NF May 2017	MSSRx-FF May 2017
SUM Channel -3 dB beamwidth [deg]	A1 ± 0.25	2.6	2.6	2.5	2.6
SUM Channel Azimuth Side Lobes [dB]	≤ -A2	-22.6*	-24.7	-24.8**	-25
DELTA Channel Difference peak amplitude[dB]	≤ 1	0.42	--	0.2	--
DELTA Channel Azimuth Side Lobes [dB]	≤ -A3	-22.5*	--	-21.5**	--
SUM/DELTA crossover level [dB]	-2.5 ± 0.5	-2.8	--	-2.78	--
SUM/OMNI(RSLs) crossover level [dB]	16.0–22.0	14–16.8**	--	13.35*	18.3
OMNI (RSLs) field strength compare to SUM Side Lobes [dB]	> 4	8.2	--	12	10

Note: NF – Near Field measurement; FF – Far Field Measurement

*Note: No RF probe compensation applied

**Note: Due to pattern unbalance

Table 1. Report format table with systems specific information of the CNF as example

Input data requirements for receive patterns test:

- PRF-Pulse Repetition Frequency, radar timing & beam pointing used by radar control program;
- Receiver Calibration data files (acquired from test Rx Calibration);
- Signal Source in Far Field.

An alternative method is the Circular Near Field method, hereby referred to as CNF. The objectives of the tests for a given antenna (array) are to determine **individual element** characteristics and defects (Amplitude, Phase) from measurements of the **global radiation performance**. The CNF method uses a computer controlled 4 Channel Vector Network Analyser (4ChVNA) device in the measurement setup shown in Fig.2.

In 2013, NSPA engineering developed the Technical Specifications and contract development requirements for the delivery of a 4ChVNA device capable for in situ calibrated measurements of the harsh environment condition from -10 to 50 °C. A Hungarian Company won the International Competitive Bidding and one year later, the new Vector Network Analyser was ready for site acceptance. See details in [3]. TAR1 antenna operates at the Liszt Ferenc airport in open-air condition for more than 20 years indicated some degradation observed by the local radar maintenance team, which required deeper investigation of the antenna pattern related uncertainties. The HC radar support team recognised the potential of the new antenna test methods in the field of improved HC maintained radar support and allowed to test TAR1 radar antenna performances with the new 4ChVNA device. This activity has grown to the permanent fruitful cooperation between HungaroControl and NSPA-LD.

The 4ChVNA device performs parallel RF sampling to measure the amplitude and phase distribution in the Near Field as the antenna rotates. A probe antenna (RF sensor – for transmitting or receiving the test signals) is mounted a few meters away from the Antenna Under Test (AUT) at the lower part of the vertical beam of the MSSR antenna pattern. 4ChVNA generated test signals are received by the AUT and are fed back to it to produce the Amplitude and Phase distribution as a function of azimuth. The amplitude resolution is required

to be better than 0.001 dB and the phase resolution better than 0.001 degree. The collected phase and amplitude data consist of more than 600 measurement samples per one antenna rotation and it is optimized for Nyquist sampling [4]. Then the data is used by a NSPA developed MATLAB program to produce the Far Field antenna pattern. The algorithm used by the program, microwave circular holography algorithm called Back Projection, is based mainly on Circular Waves Spectrum theory. It uses Hankel functions and Kalman filters with related components of the wave vectors, while the hologram transforms the Planar Wave Spectrum to the antenna surface. The hologram depicts exact amplitude and phase distribution of the antenna elements' excitation [5][6][7]. A Kalman filter with smoothing coefficients and variable thresholds is applied, related to curves in the amplitude and phase distribution holograms figures, to support failure analyses of the phased array. By taking into account the exact physical dimensions of the measured antenna, the individual element performance can be examined and localized identification of defects/degradation can be achieved. The CNF method can help in troubleshooting the in-service phased array antennas.

OVERVIEW OF HUNGAROCONTROL RADAR ANTENNA PERFORMANCE CHECKS

The operational frequencies of the TAR1 and TAR2 radars at Liszt Ferenc airport were interfered with heavily by local users. The side effects of this interference were minimized by covering the RF sensor surface with a special absorber material, with a hole pointing in the direction of the AUT. Furthermore, based on the lessons learned during the first campaign, the digital filtering method of the unwanted signals has improved. The CNF test performed at frequencies 1030, 1060 and 1090 MHz consecutively, while the FF test performed only at 1030 and 1090 MHz. The uplink and the downlink frequencies used only for test set up and fault finding confirmation. The near field and far field results were evaluated separately, and the findings compared with each other.

Measurement data have been collected and analysed for Channel A and Channel B of the MSSR. All differences of the results could be observed between the two channels should be within the measurement tolerances.

Experience of the NSPA engineers points that the antenna pattern degradation could be caused by lack of proper RADOME maintenance. The main sources of the beam-shape degradation caused by RADOME are as follows:

- ➔ Surface degradation, due to weather, solar radiation, lightning and breeze, e.g. in case of Fig. 5;
- ➔ Reflections, due to ice, electrical and grounding cables on the RADOME surface, e.g. in case of Fig. 23;
- ➔ Ribs effect, which is not the case for HC used RADOMEs.
- ➔ The following sections are introducing observations that are useful for further improvement of the civilian radar antenna maintenance processes.

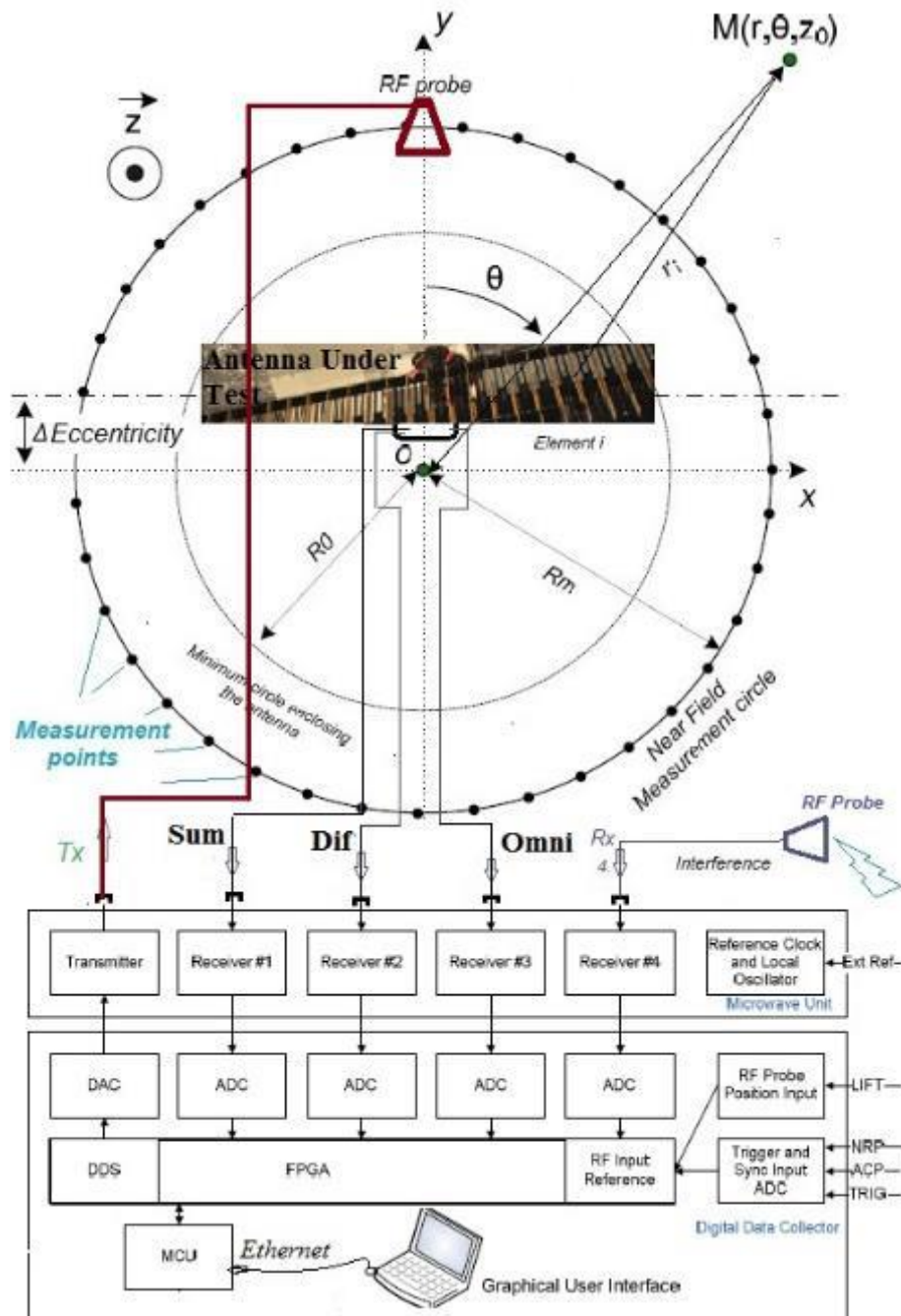


Fig.2 Measurement set up of the 4ChVNA [4]

Measurements of the RADOME degradation

Measurement of antenna pattern degradations related to RADOME require measuring of the electro-magnetic energy, strength inside the RADOME and at the same height/position of the RF probe outside the RADOME for every pallet of the RADOME. If there is no requirement for full RADOME performance check the measurement points have to be minimized for the saving of time and effort during the test. Consultation with the local HC engineers at the radar sites concluded in streamlining the effort of the collected information. Raw Order of Magnitude (ROM) analyses of the RADOME influence on the antenna pattern are extracted from the data collected, when twice two measurement results for next RADOME pallets are compared. Two

by two, CNF measurements are taken from 1.5-2 m distances to each other in azimuth inside and outside the RADOME. The CNF measurement setup pictures are shown in Fig.3, while Fig.4 depicts the perfect antenna patterns that are measured inside the RADOME.



Fig.3 RADOME performance measurement set up [9]

Fig. 6 shows the horizontal MSSR Interrogation patterns as measured from the far field with RASS-S/RFA. The observations are that the P1-P3 pattern has a beamwidth within the expected limits. The SUM channel side lobes are within the specifications. Passive component of the Channel A and channel B have the same RF performances as the repeated measurement of the channels produces the same results. The Omni channel strength, notch is correct and covers the Sum channel sidelobes with required margin. Several punch-through around +90, +115 degrees and at -90, -115 degrees. This phenomenon can be observed in all systems of this antenna. Fig. 5 indicates some pattern degradation on the front part of the beams measured with CNF outside the RADOME and in the measurement at the FF remote position. Detection of the antenna pattern degradations caused by RADOME is very problematic with type of measurements other than CNF. E.g., the observation of the degradation on the PPI console is possible only when the target detection characteristics drop to an unacceptable level. Fig.7 and 8 depict MSSR antenna surface holograms, amplitude distribution are calculated from CNF data, which are collected inside the RADOME. Fig.7 shows small excitation disturbances at #5 due to loose connectors and icy RADOME condition at #22, and at #32.

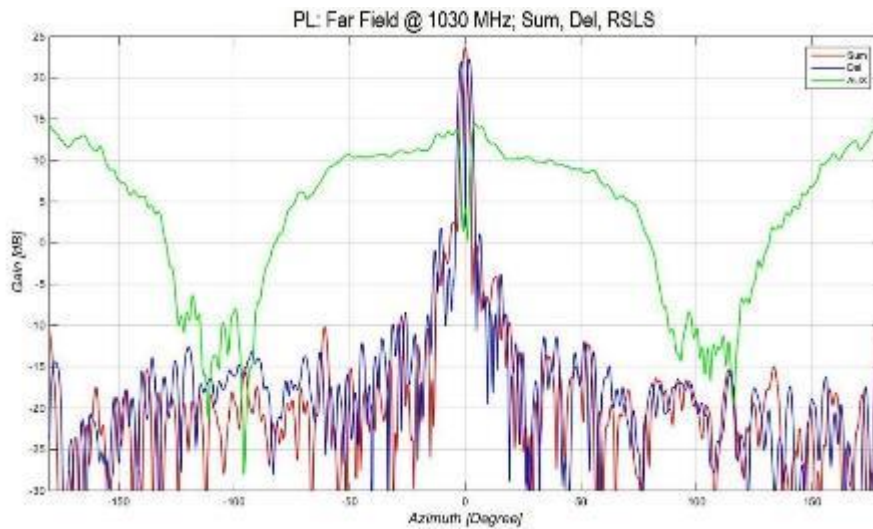


Fig.4 MSSR far field antenna patterns are calculated from circular near field measurement data [9]

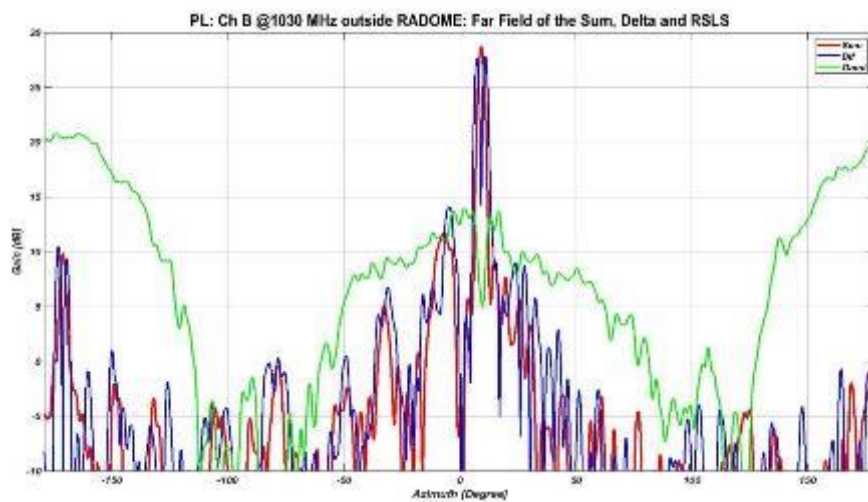


Fig. 5 MSSR far field antenna patterns are calculated from CNF outside the RADOME data [9]

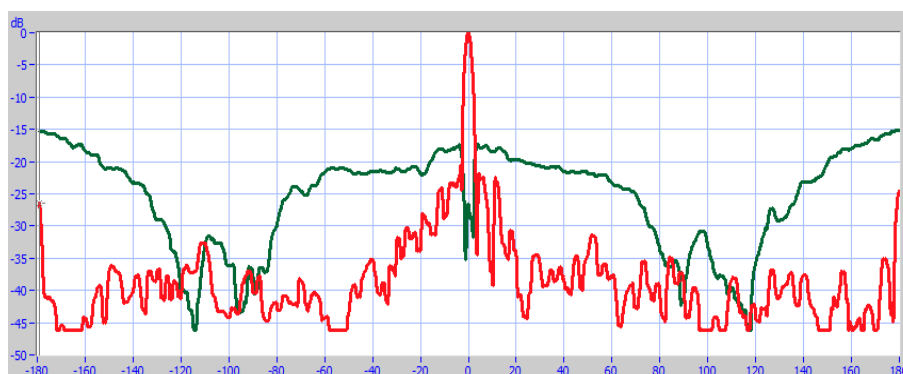


Fig. 6 Horizontal MSSR Interrogation patterns as measured from far field with RASS-S/RFA [9]

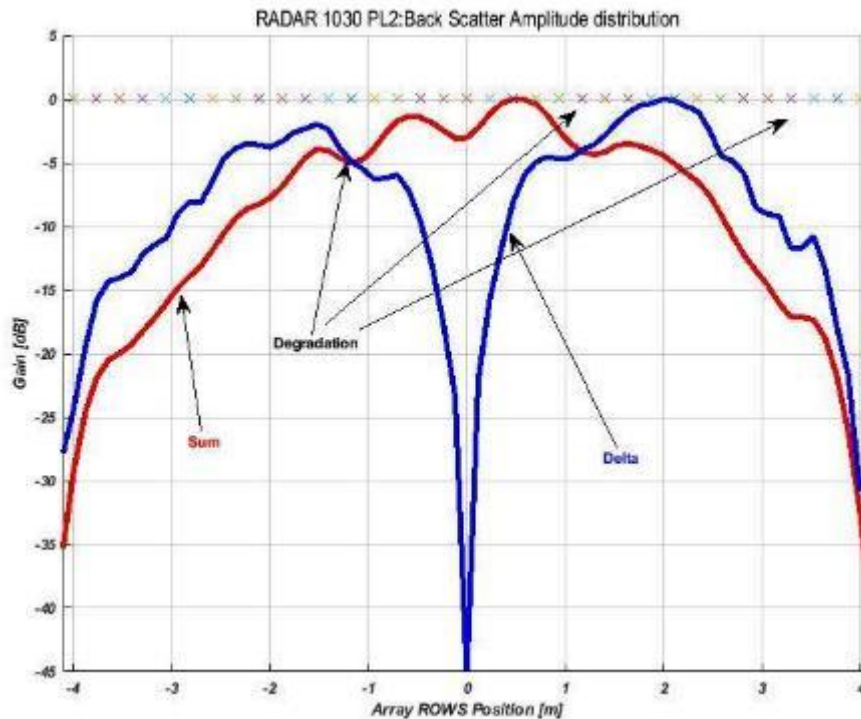


Fig. 7 Calculated MSSR antenna surface amplitude distribution in 2014 (icy RADOME surface) [9]

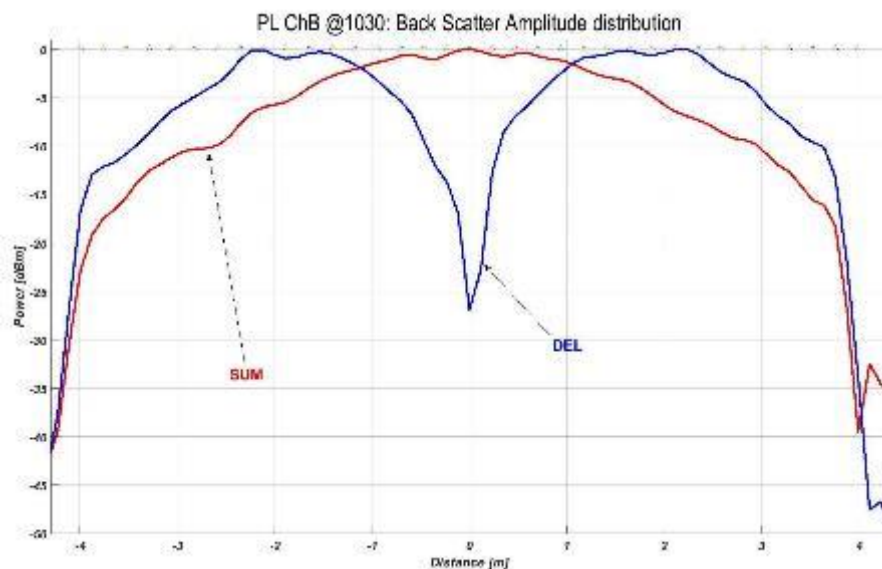


Fig.8 Calculated MSSR antenna surface amplitude distribution in 2017 [9]

Fig. 8 shows the same MSSR hologram patterns as Fig.7 after loose connectors fixed and the ice melted away on the RADOME surface.

Measurement of the Radar Antenna not protected by RADOME

Fig. 9 shows degraded MSSR FF antenna patterns, which are still within the operational requirements, while the FF patterns shown in Fig.10 produced at Remote Position indicates close to the failure status of the antenna. The amplitude distribution on the antenna surface, Fig.11, indicates several bad connections, cables and even columns of the array, which required site and Original Equipment Manufacturer (OEM) intervention.

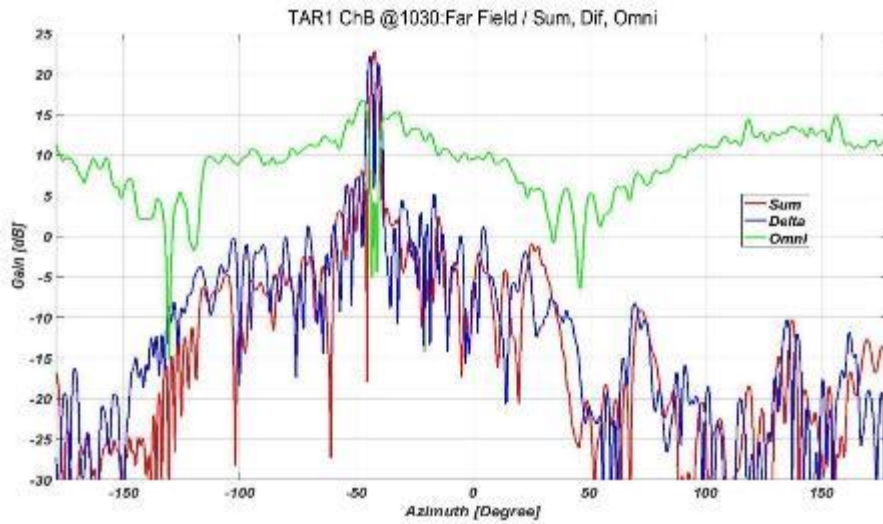


Fig.9 MSSR far field antenna patterns are calculated from circular near field data [9]

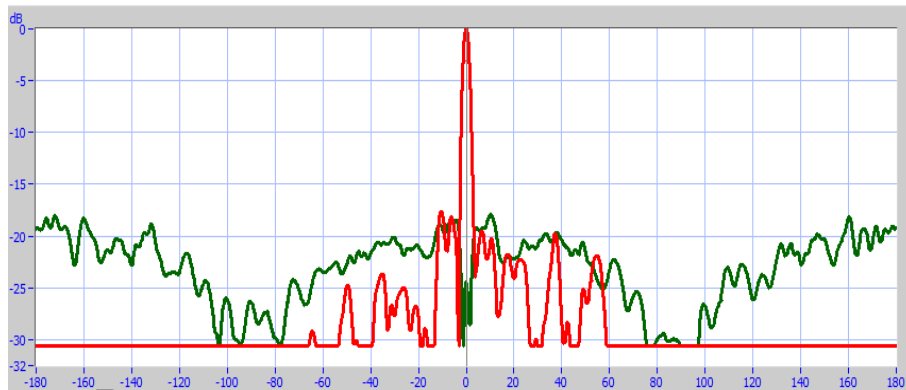


Fig.10 Horizontal MSSR Interrogation patterns as measured from far field with RASS-S/RFA [9]

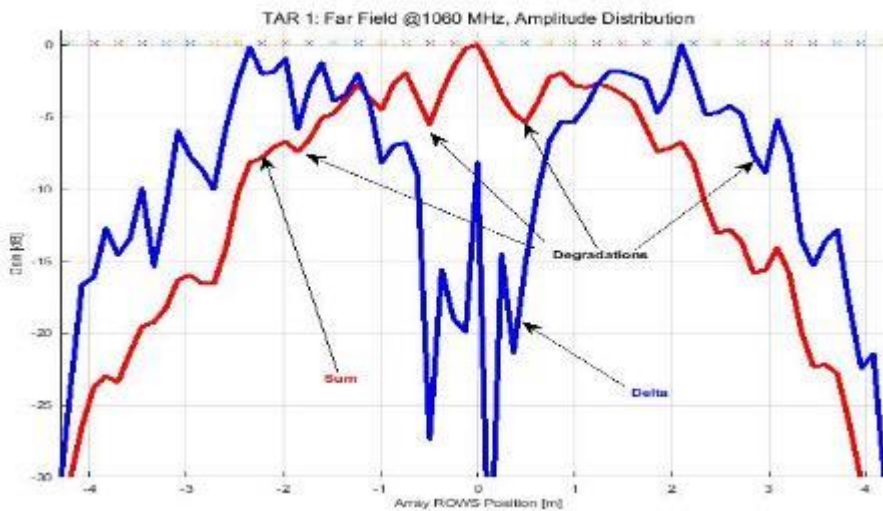


Fig. 11 Calculated MSSR antenna surface amplitude distribution for Sum and Delta channels in 2014 [9]

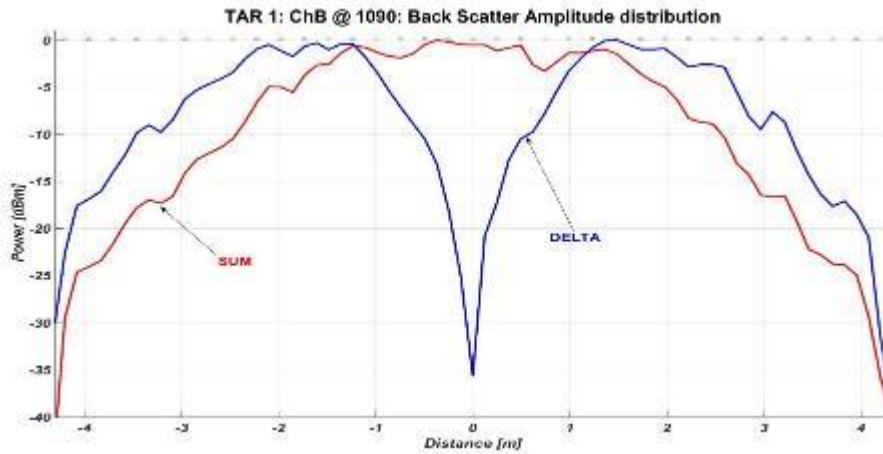


Fig.12 MSSR antenna surface amplitude distribution for Sum and Delta channels in 2017 [9]

Fig. 12 shows the same MSSR antenna amplitude distribution on the antenna surface after OEM and site engineers have implemented the corrective measures. There are still degradations in the element excitation that required further investigation. Fig.13 shows a measurement set up of the Planar Near Field (PNF) data collection and the calculated FF measurement results for the data has been collected on the column feeds of the degraded and good vertical element. Simulation results and comparison of theoretical correct column amplitude and phase distribution with the measured data results have shown that the vertical radiation pattern degrades in case of not correct phase distribution of the columns feeding. These results proved that the remote position of the Fig.10 data collection is well below the pointing of the MSSR antenna and the produced results could not be validated.

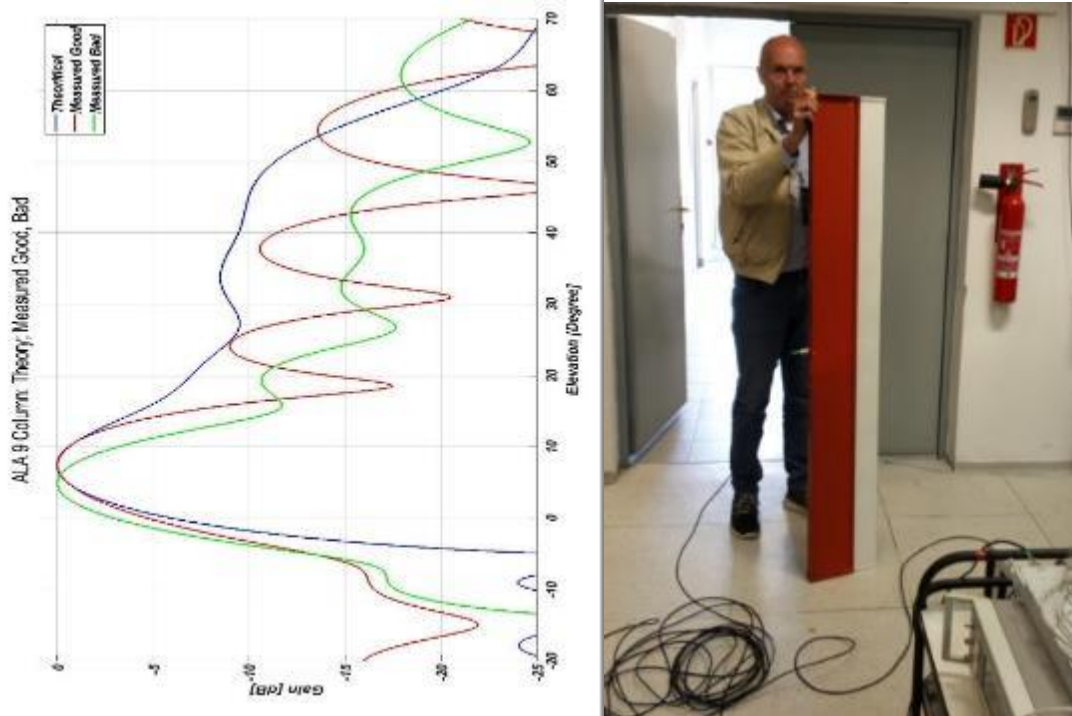


Fig.13 MSSR Vertical Antenna Patterns: Theoretical, Good and Degraded columns [9]

Measurable degradation of the Radar Antenna with Back Radiator issue

Fig.14, 15 and 17 prove that the MSSR antenna back lobes are degraded, due to the connections or tilting of the Back Radiator. See Fig.16. The P1-P3 pattern has a beamwidth within the expected limits. The Delta channel shape is as expected. The SUM channel side lobes are within the specifications, but Omni Pattern back lobes do not cover them.

Fig.18 and 19 plot holograms, which indicate minor degradation of amplitude distribution at column #4 and two artificial excitation problems at column #7 and #15 used for calibration of the test setup. These figures prove the observation that the Sum and Delta channels are working correctly, while the Back Radiator needs maintenance.

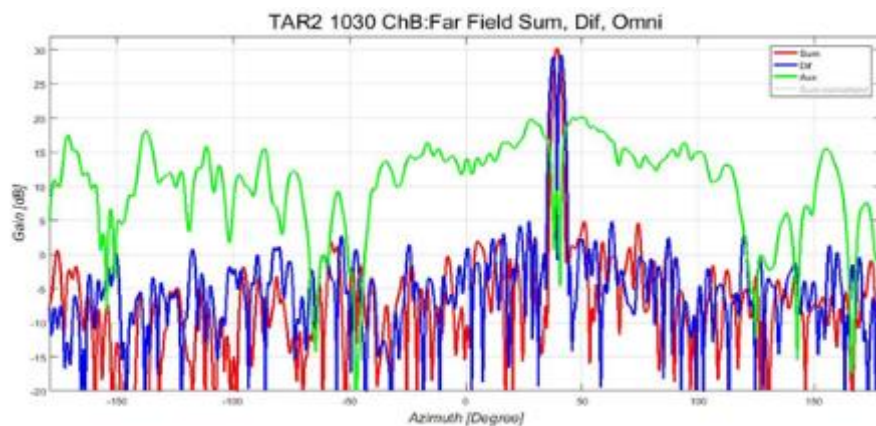


Fig.14 MSSR far field antenna patterns are calculated from circular near field measurement data [9]

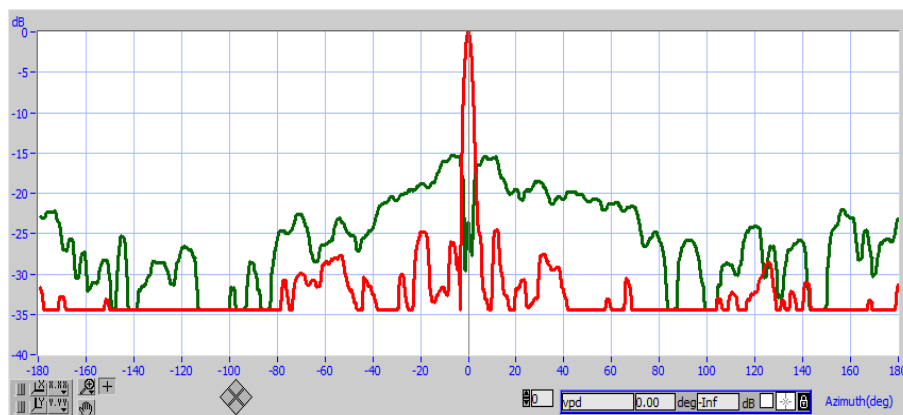


Fig.15 Horizontal MSSR Interrogation patterns as measured from far field with RASS-S/RFA [9]



Fig.16 MSSR LVA Antenna Back Radiator [9]

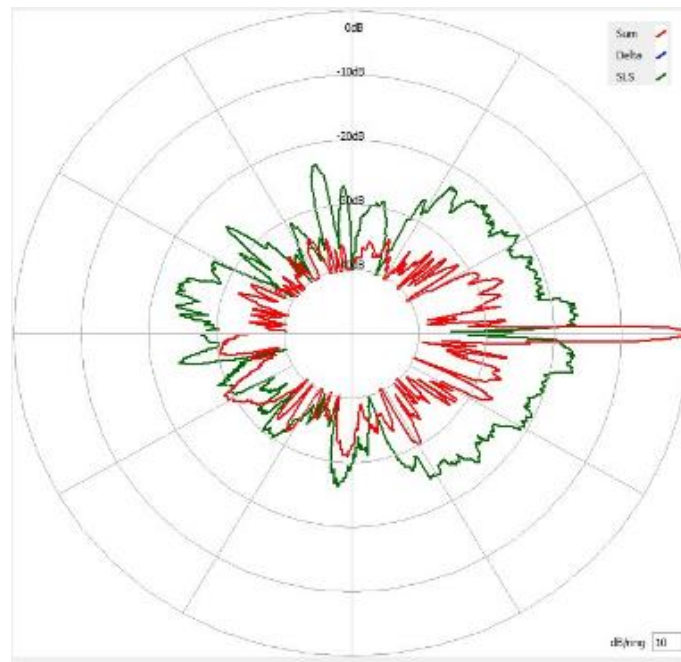


Fig.17 Horizontal MSSR Polar Antenna patterns as measured from far field with RASS-M [9]

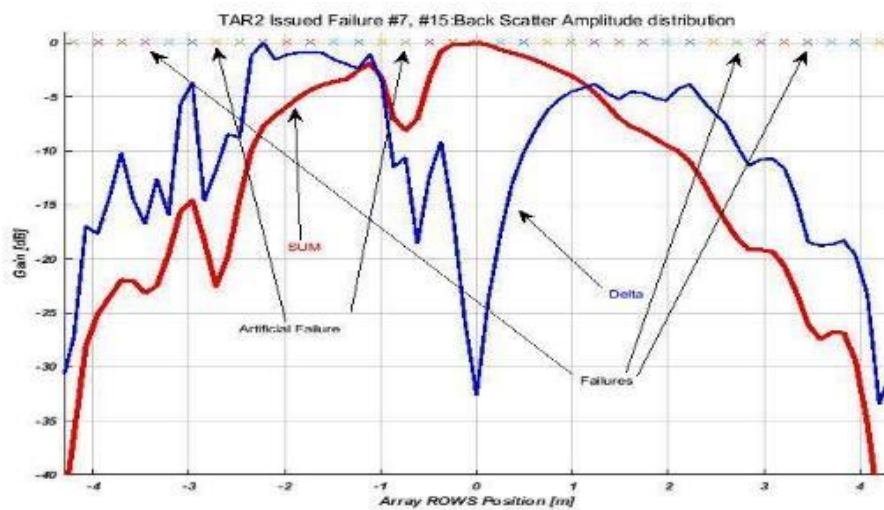


Fig.18 Calculated MSSR antenna surface amplitude distribution with artificial failures [9]

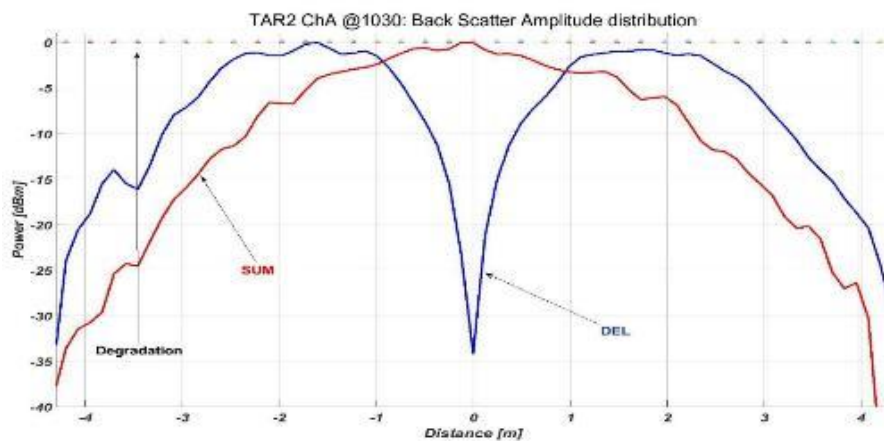


Fig.19 Calculated MSSR antenna surface amplitude distribution after correction [9]

Perfect MSSR Antenna performances

Figures from 20 to 24 show perfect antenna conditions calculated from CNF data and confirmed by Far Field measurement results.

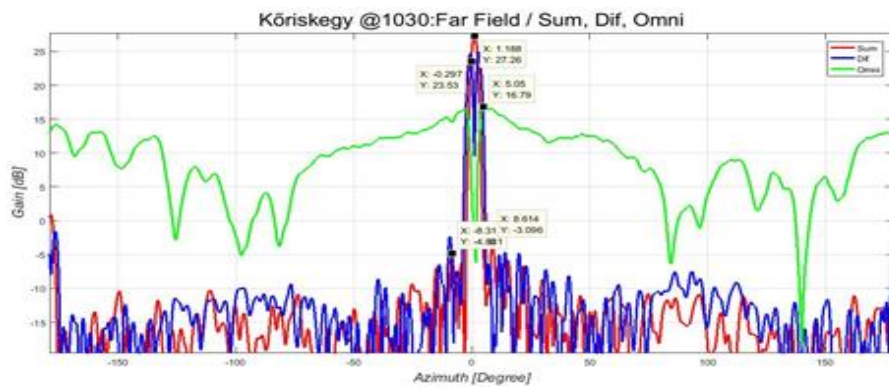


Fig. 20 MSSR far field antenna patterns are calculated from circular near field measurement data [9]

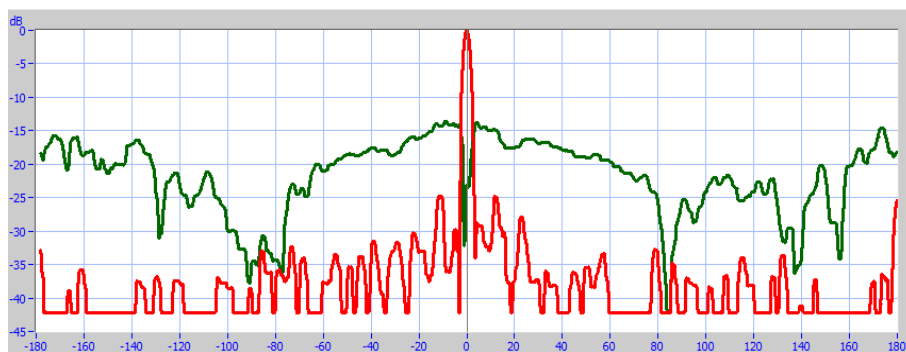


Fig. 21 Horizontal MSSR Interrogation patterns as measured from far field with RASS-S/RFA [9]

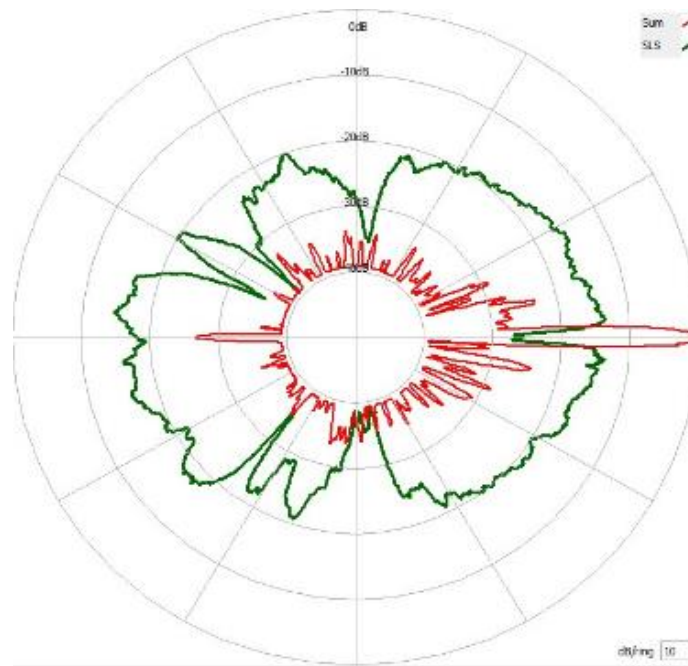


Fig.22 Polar view of the MSSR Interrogation patterns as measured from far field [9]

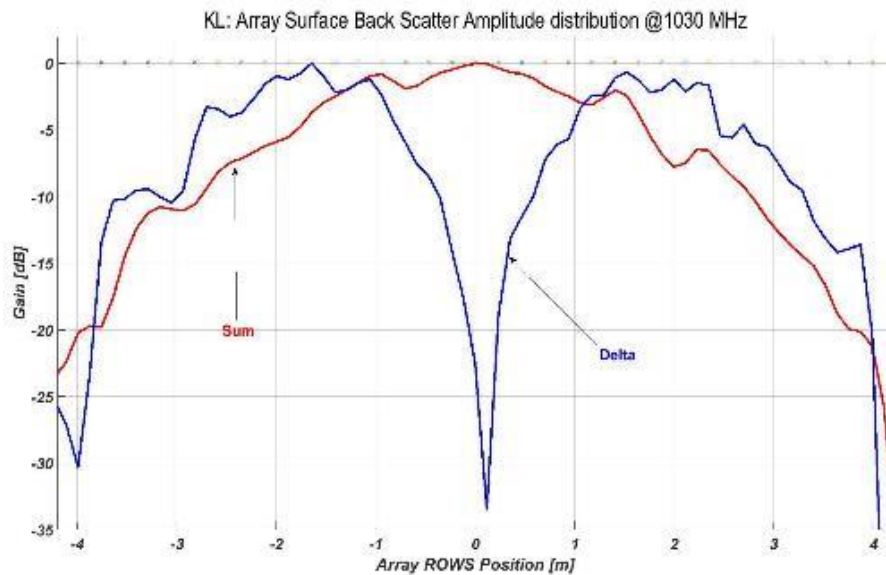


Fig. 23 Calculated MSSR antenna surface amplitude distribution, in icy RADOME condition [9]

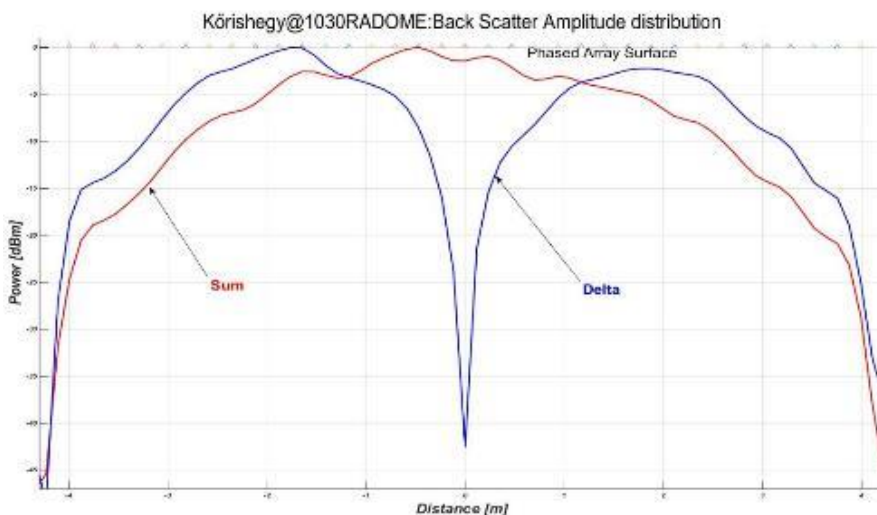


Fig. 24 Calculated MSSR antenna surface amplitude distribution in good weather condition [9]

CONCLUSIONS AND WAY AHEAD

The article highlighted the fact that radar antenna performance tests significantly enhance the engineer's understanding of phased array operational statuses and improves the ability to detect antenna system degradation and hidden problems. This could not be detected by Built In Test Equipment of the radars, at an early stage, thus avoiding catastrophic and costly failures. HungaroControl radar support engineering and management have recognised these advantages and with support of Hungarian MoD and NSPA started to explore the possibilities.

Briefly the benefits of the antenna performance measurements are:

- ➔ Independent assessment of system performance and corrective action;
- ➔ Early detection of degradation;
- ➔ Minimized unscheduled urgent contractor interventions;
- ➔ Focused contractor interventions & overhauls;

- Information sharing on systemic failures and corrective actions between users;
- Better understanding of system by site technical staff;
- Feedback from previous campaign exercises allowing for continuous improvement and further optimization.

Campaigns at HC radar sites have uncovered issues that have assisted, with the cooperation of the OEMs, the sites in maintaining optimal and even better antenna performances.

The way ahead for HC and NSPA cooperation is to develop and apply for the HC maintained radar systems a tailored version of NSPA used Radar System Performance Check procedures with the cooperation of other users supporting similar or the same type of radars.

This type of Lifecycle Radar System Support services will assist site-engineering staff in achieving even higher standards of the system performance compared with the past characteristics.

Special thanks to the experts on Hungarocontrol Radar Technical Staff who provided professional and continuous assistance and contribution both technically and logistically.

This article is a result of a collaboration of NSPA R-SPC engineers who work untiringly to carry out and maintain the methods and practices of the R-SPC to the highest level.

REFERENCES

- [1] Balajti I.: Performance measurements of the radar “in situ”, MRRS-2008 Radar and Remote Sensing Symposium Proceedings, Kiev, Ukraine, pp.6, DOI: 10.1109/MRRS.2008.4669608 · Source: IEEE Xplore Conference: Microwaves,
- [2] ENGESAETH J. R., NICOLAS J. J.; BALAJTI I.: Mitigation of the "In Situ" radar antennas measurement reflections and multipath of the System Performance Checks, IEEE Radar Conference, Pasadena, USA, 4-8 May 2009. p. 1-5.
- [3] Szullo A, Orban J, Miko G.: Development of a multichannel vector network analyzer for 'In Situ' measurement of radar antennas, 14th Conference on Microwave Techniques, COMITE 2015. Pardubice, Czech Republic, 2015.04.22-2015.04.23. IEEE, 2015. Paper 7120317. 4 p. ISBN:978-1-4799-8121-2
- [4] Balajti I: Near Field Antenna Measurements in the Field, International Radar Symposium Proceedings - IRS 2015, 6 pp, ISBN:978-3-95404-853-3
- [5] Nicolas J.J, Engesaeth J.R, Balajti I.: Assessing Performances of Radar Phased Array Antennas: Circular Near Field In Situ, In: RADAR 2009: Surveillance for a Safer World. Paper D2.P1.3.2.
- [6] NICOLAS, J.J.: In situ array antenna diagnosis using microwave circular holography, IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology (ARRAY) Proceedings, Boston, USA, 12-15 October, 2010. p. 298-305
- [7] Gábor Dénes és a holográfia (Letöltés 2017, November 11): https://www.google.lu/search?q=g%C3%A1bor+d%C3%A9nes+hologr%C3%A1fia&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiX_XTubTXAhWJJewKHXP_AEIQsAQIPA&biw=1200&bih=705
- [8] Barton D.K., Sergey A.L.: Radar Technology Encyclopaedia (Electronic Edition), Artech House, London 1997, ISBN 0-89006-893-3
- [9] BALAJTI I., ENGESAETH J. R., JENSEN C.M.: Test report of the HungaroControl MSSR radar antenna tests, NSPA, 2014, 2017

Légtérelenőrző radar antenna performancia menedzsment a Hungarocontrolnál

A cikk az antenna performancia tesztekben lévő lehetőségekre hívja fel a figyelmet a Hungarocontrol által üzemeltetett négy légtérelenőrző radar antennán szerzett antenna performancia mérések tapasztalatainak összefoglalásával. Ez fontos feladat, mivel az antennák és a RADOME-jaik ki vannak téve az öregedés, az időjárás, a villámcsapások, a tervezett/terven kívüli javítások és néha részleges felújítás okozta teljesítményromlásnak. Az antenna performanciák fokozatos csökkenése észrevétlenül elérheti azt a szintet, amikor a következmények végzetes performancia csökkenéssel járnak, mivel a radarokba beépített önteszt rendszerek nem ellenőrzik az antennák állapotát. Következésképpen az antenna performanciákat külön erre a feladatra kidolgozott „in-situ” mérési eljárásokkal és teszt eszközökkel kell rendszeresen ellenőrizni.

Kulcsszavak: In-Situ, közel-tér, távol-tér, antenna performancia teszt, légiforgalmi irányítás

Dr. habil Balajti István CSc
Senior Technical Officer / Engineering and Support
Section Communications, Air and Missile Defence
Programme (LD)
NATO Support and Procurement Agency (NSPA)
istvan.balajti@nspa.nato.int
orcid.org/0000-0003-3566-2904

Dr. István Balajti CSc.
Vezető Mérnök / Hírközlési, Légi és Rakétavédelmi
Program, Mérnöki Támogató osztály
NATO Támogató és Beszerzési Ügynökség
istvan.balajti@nspa.nato.int
orcid.org/0000-0003-3566-2904



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-04-0416_Balajti_Istvan.pdf

Horváth Gábor, Körmöczi Andor, Vass Csaba, Geretovszky Zsolt

LASER JOINING IN AVIATION: MAKING THE BATTERY PACKS OF THE ELECTRIC DRIVETRAIN

This review provides a detailed overview on bonding techniques used for the assembly of battery packs of modern hybrid and full electric vehicles that are appearing in aviation with special attention towards the more modern laser techniques. We introduce conventional and modern welding and brazing procedures and compare them thoroughly. Among the available alternatives laser based techniques seem to be exceptionally promising due to their reliability, reproducibility and ease of automation, which we will also corroborate in this review. Our work is being supported by the EFOP-3.6.1-16-2016-00014 project, entitled “Research and development of disruptive technologies in the area of e-mobility and their integration into the engineering education”.

Keywords: Electric and hybrid aircraft, Lithium-ion battery cells, Battery assembly, Laser joining, Laser welding

INTRODUCTION

Nowadays, environmental friendly solutions are gaining more and more attention in every field of technology and research. Engineers and scientists are looking for new types of energy sources, mainly due to the dwindling supplies of fossil fuels and posing a smaller strain on nature. As a result, modern vehicles have alternative power sources, instead of conventional combustion engines, the most common of these constructions are hybrid or full electric drive systems. As of today we already see these trends in the car industry (Tesla Motors, Nissan, BMW, etc.) with the appearance of full electric automobiles even in the premium sector. This beginning trend is inevitably expanding and soon full or partially electric (hybrid) vehicles will take over the entire market. This change is present in aviation too, but the process is considerably slower, mainly due to the limited performance of energy storage units (accumulators) and the more critical importance of safety issues. Therefore currently hybrid drive systems are more common in the aviation sector with the full electric versions lagging behind. Hybrid vehicles usually have a conventional (combustion) drive system with an auxiliary low power electric motor, which works the same way as the full electric drive system. A simplified schematic electric drive scheme of a currently existing and operational full electric airplane (VUT 051 RAY) can be seen in Figure 1 [1]. Due to the above reasons these machines have a very limited flight time (typically less than an hour) and weight carrying capacity (around few hundred kilograms), but they fulfill 2 seater models perfectly, e.g. for the educational purposes of pilots [2].

Regarding the power source of the electric motor, the best engineering practice dictates to create the large capacity battery pack of several small capacity cells connected in parallel and/or in series instead of using one single large capacity unit. Using this method we gain a cost effective (the large scale production of small cells provides reduced costs), highly customizable (custom voltage and amperage values based on construction) and modular system which is exceptionally important given the fact that battery life of individual cells can be very different. These large capacity battery assemblies are produced using the multi-level production scheme presented in Figure 2 [3].

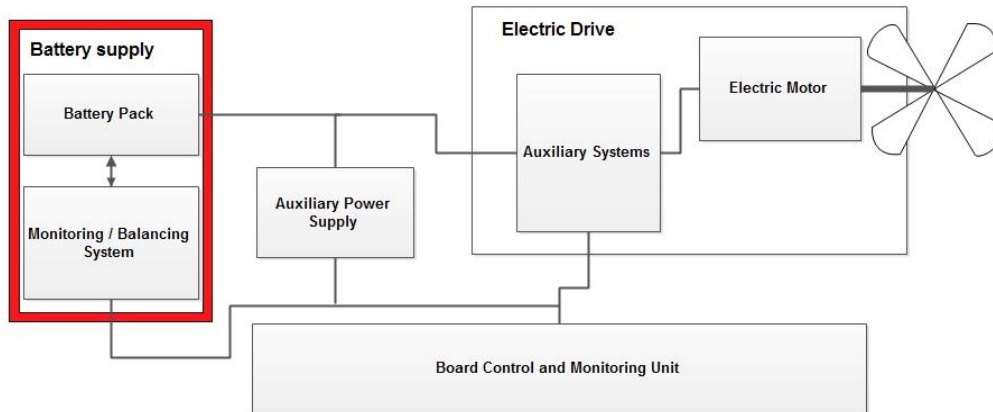


Figure 1 Full electric plane drive scheme [1]

At different levels of the manufacturing process, different joining techniques are used and these cannot be universal, as battery pack specifications are usually unique for the given engineering problem. In general, it can be said that mechanical joining (screw, riveting, etc.) is used at the pack and module levels of the assembling process to preserve modularity, while some form of permanent and much more refined bonding method (i.e. welding or brazing) is used at the unit and cell levels to reduce overall weight, electrical resistance and to achieve improved mechanical properties of the joint [3]. In this paper, we aim to review these latter joining techniques, more specifically, laser welding and laser brazing for the production of battery packs used in the aviation industry.

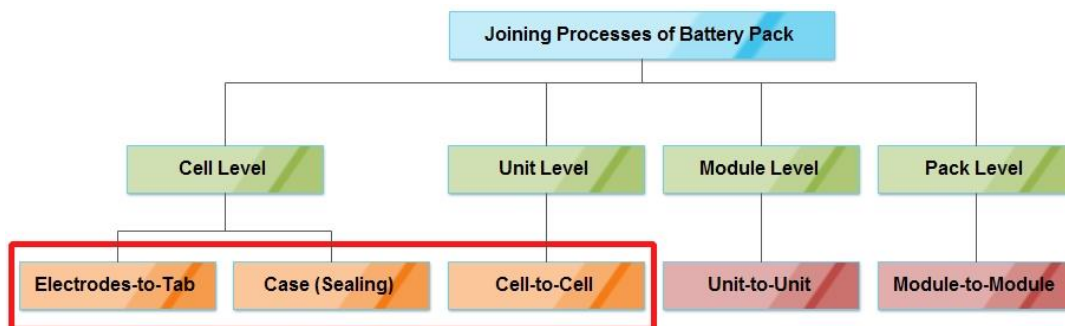


Figure 2 The hierarchy of battery pack manufacturing [3]

WELDING AND BRAZING TECHNIQUES

Welding is a technique for joining materials (typically metals or certain plastics) by fusing the materials to be joined. Welding is therefore distinct from other joining processes such as brazing or soldering where the base material does not melt. For enhancing the mechanical, electrical, and chemical (e.g. corrosion resistance) properties of the joint, filler materials may be added to the weld pool, when the process is called braze welding. Using this latter method a bond that is mechanically stronger than the base metal can even be formed. The welding process usually requires a shielding atmosphere in the form of some kind of inert gas (or a mixture of gases) that protect the weld pool from contamination and chemical degradation (most importantly oxidation or nitridation). For this purpose the use of noble gases (e.g. helium, or argon) is typical [4][5].

Brazing and soldering are material joining methods where two or more metallic pieces are bonded together via the wetting and resolidification of a filler metal. Brazing and soldering is different from welding in that the melting of the pieces to be joined do not occur in these processes, which is why the soldered/brazed joint is said to be mechanical, instead of metallurgical. The main difference between soldering and brazing is the temperature that is needed for the formation of the joint. The liquidus temperature of the filler is below and above 450 °C for soldering and brazing, respectively. The molten filler make intimate contact with the parts to be joined due to capillary action, i.e. wets the surfaces to be joined. During soldering and brazing a flux is usually used to assist in wetting at the process temperature and also to protect the molten filler material from contamination and oxidization [4][5].

The main characteristics of these joining processes are summarized and compared in Table 1 below.

Parameter	Process		
	Soldering	Brazing	Welding
Joint formed	Mechanical	Metallurgical	Metallurgical
Filler metal melt temperature (°C)	<450	>450	>450
Base metal	Does not melt	Does not melt	Depends on subtype
Fluxes to protect and to assist in wetting of base metal surfaces	Required	Optional	Optional
Typical heat sources	Soldering iron, Ultrasonics, Resistance, Oven, Laser	Furnace, Chemical reaction, Induction, Torch, Infrated, Laser	Plasma, Electron beam, Tungsten and submerged arc, Resistance, Laser
Tendency to warp or burn	Atypical	Atypical	Potential distortion and warpage of base-metal likely
Residual stress	Atypical	Atypical	Likely around weld area

Table 1 Comparison of the major characteristics of welding, brazing and soldering [5]

In general, sheet materials are best suited for welding techniques, but other geometries (tubes for example [6]) are also possible. In Table 2 we show some sheet material joint geometry configurations that are commonly used in engineering practice with special attention to geometries used for battery joining (these geometries are typeset in red).

Joint Type	Lap joint	Edge joint	T-joint	Butt joint	Corner joint	Circular axial joint
Applicability	The most common configuration for all materials.	Usually applied for thin sheet material joining where the joint's width is in the order of the thickness of both members.	Limited joining angles possible, but a full penetration joint can be formed with sufficient power.	Very commonly used for joining ferrous or other high viscosity alloys.	Similar to T-joints, difficult to realize for very thin sheet materials.	Used for joining tubular shaped metals.
Illustration						

Table 2 Typical joint designs for metal bonding [4]

The most widespread lithium-ion battery cell geometries are the cylindrical and pouch configurations [7]. Thus, the most common joint designs used for battery joining technologies are the lap and edge geometries. Lap geometry can be used for both cylindrical and pouch type cells and has several advantages over other joint types. Lap configurations are highly tolerant for welding beam and weld seam misalignment, thin-on-top and thick-on-bottom welds are easily achievable (thick-on-top and thin-on-bottom joints are less desirable) and weld width (multiple passes) can improve weld strength. The edge joint is slightly less common due to lack of applicability for cylindrical cell joining, but is still among the most popular geometries for battery module-to-module bonding. The biggest advantage of this edge configuration is the wide array of joining angles possible with the appropriate forming of edges. The mechanical strength of the edge joint is primarily dependent on the depth of the weld seam between the sheets (heat/energy absorption and transfer effects are critical in this case) [4][8].

Welding can be achieved by many heat sources and usually each heat source represents a different welding technique. A detailed description of some of the most common and most widely used welding methods are shown and compared in Table 3.

Characteristics	Laser beam	Electron beam	Ultrasonic	Resistance	Gas tungsten arc	Friction	Capacitive discharge
Weld quality	Excellent	Excellent	Excellent	Fair	Good	Good	Excellent
Weld speed	High	High	High	Moderate	Moderate	Moderate	Very high
Heat input into welded part	Low	Low	Low	Moderate	Very high	Moderate	Low
Weld joint fitup requirements	High	High	High	Low	Low	Moderate	High
Weld penetration	High	High	Low	Low	Moderate	High	Low
Range of dissimilar materials	Wide	Wide	Narrow	Narrow	Narrow	Wide	Wide
Range of part geometries/sizes	Wide	Moderate	Restricted to lap joints	Wide	Wide	Narrow	Narrow
Controllability	Very good	Good	Good	Fair	Fair	Moderate	Moderate
Ease of automation	Excellent	Moderate	Good	Excellent	Fair	Good	Good
Initial costs	High	High	High	Low	Low	Moderate	High
Operating/maintenance costs	Moderate	High	High	Moderate	Low	Low	Moderate
Tooling costs	High	Very high	High	Moderate	Moderate	Low	Very high

Table 3 Conventional and modern welding processes [4]

According to the above reasons laser welding is well suited for battery joining problems, but it requires a delicate system design and precise calculations as well as professional operation skills [4].

LASER WELDING AND LASER SOLDERING/BRAZING

According to the previous section laser welding and laser brazing techniques are versatile and provide an excellent quality joint with exceptional mechanical, electrical properties for a large variety of materials. The only cons of the laser based joining techniques are the relatively high

investment costs and the fact that the system has to be tailor made for every joining problem. Despite these disadvantages nowadays laser joining techniques are coming more and more into view and these processes are heavily assisted by the rapid development of high power diode and continuous wave fiber lasers that have excellent beam properties and focusability. With the use of these modern lasers it is possible to build a highly automatable laser joining system that operates at high speed, precision, and exceptional reproducibility. Among others, the most important advantage of the laser joining techniques is the small heat affected zone (HAZ), that prevents metal distortion (internal strain after welding) and also partly responsible for the very high process speeds that ensures that only a minimal amount of intermetallic compounds (IMCs) are formed (that are brittle and have a high porosity), if any. To achieve perfect conditions a thorough investigation and adjustment is required in advance because of the fact that there are plenty laser and other process parameters that come into play during the laser bonding procedures (e.g. laser power, wavelength, scanning speed, etc.). In summary, laser welding and laser brazing has a great potential for battery joining, but it has to be examined and designed with great care. All three of these joining methods have several subtypes. In Table 4 we summarize and compare the most commonly used subdivisions of laser joining [4][5][8][9].

	Laser Soldering	Laser Brazing	Laser Welding		
			Heat conduction welding	Keyhole welding	Braze welding
Illustration					
Temperature during joint formation	<450°C	>450°C	Lower melting point component's liquidus temperature	Higher melting point component's liquidus temperature	The highest melting point component's liquidus temperature
Advantages	Low temperature, Only the solder metal gets melted	Only the braze metal gets melted	Relatively low temperature, no IMC formation	Fast, versatile technique, usable for almost any metal combinations	Chemical and other mechanical properties can be influenced
Disadvantages	Relatively bad mechanical and electric properties, need of protective material (flux)	No universal braze metal, not every combination of metals can be joined equally well	Slow process, fairly low mechanical properties	IMC formation, high temperature, difficult to model	IMC formation, high temperature, several process parameters

Table 4 Major types of laser joining techniques [5][8]

Laser soldering and laser brazing

Laser soldering and laser brazing can be achieved with a relatively low beam power and not so demanding laser setup because they take place at a fairly low temperature and a low melt point filler material is used. The solder material can be added to the system in multiple ways, a common solution is the pre-applied solder paste or a powder injection at the joint area. Another frequently used method is the addition of solder/braze material in form of a cold (in some cases heated) wire. In the latter case a very precise adjustment of wire feeding unit is needed because

if the wire is fed into the soldering/brazing spot too quickly or too slow the joining area might get damaged, the joint that is formed can be faulty or might not even form, at all [4][5].

The main difference between the two types of these laser joining technologies is the temperature where joint formation takes place. Laser soldering and brazing happens at temperatures below and above 450 °C, respectively and as a general rule of thumb the latter results in a stronger joint and with a lower electrical contact resistance. A slight inconvenience of these techniques is that the solder and braze materials are not universal, but have to be chosen individually for each contact metal combination and not every combination of metals can be joined equally well using these methods. Moreover, the potential joining geometries are also limited. In summary, laser soldering and laser brazing are less demanding on the technical aspects than laser welding, but may still result in a joint of high enough quality that might be sufficient for battery joining, especially when laser brazing is realized [5].

Laser welding

Laser welding requires a higher power laser system (in order to melt both metals) with great precision as welding in general is an autogenous joining process which means that no additional filler metals are added to the weld. For reducing the role of fit up errors, that results in faulty joints, a clamping system is commonly used. If light absorption of the metal is sufficiently high at the wavelength of the welding laser (in most cases in the vicinity of 1 μm or at 10.6 μm) a low power laser might be applicable. Despite these strict conditions laser welding is widely used for joining similar metals, and can also be used for joining dissimilar materials (i.e. for heterogeneous joining) for most metal combinations. The reason for that is that laser welding, in general, results in joints of excellent mechanical and electrical properties. Laser welding has a large variety of possible weld geometries as we have shown before in Table 2. The difference between the three major types of laser welding, schematically shown in Figure 3, resides mainly in the differences *i)* in the geometry of the formed weld pool and *ii)* the thermal processes that dominate during the formation of the weld [4][8].

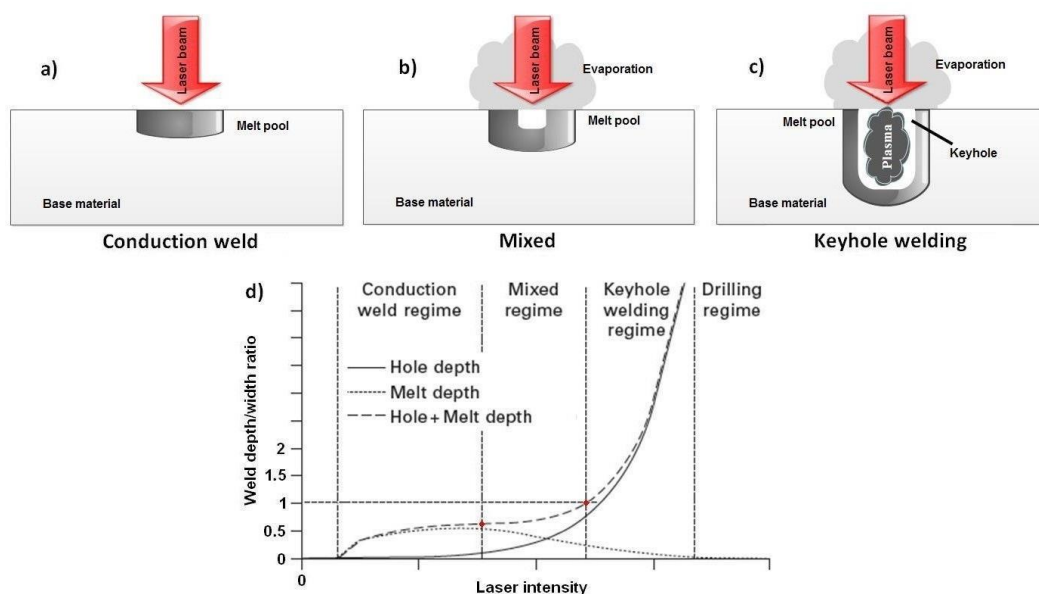


Figure 3 Laser conduction (a), mixed (b) and keyhole (c) mode welding and (d) the change of weld pool geometry as a function of laser intensity [8]

Conduction welding occurs, if the depth of the weld pool is less than half of its width (i.e. the weld width) and no boiling or intensive evaporation of the metals to be joined occurs. If the depth is equal to or greater than the width and a so called “keyhole” is formed (where evaporation, plasma formation and boiling are jointly present) we speak of *deep penetration or keyhole welding* (in some rare cases a mixed regime is also stably formed) [8].

This *conduction mode laser welding* is usually achieved by using a low power, usually defocused laser beam. During the formation of the joint most of the base material is not directly heated by the laser light, but instead via heat conduction from the upper metal layer that is melted by the beam. This process is much slower (in general half the speed) than that of keyhole mode laser welding and results in a lesser quality joint (both in terms of mechanical and electrical properties). However, a huge advantage of this welding mode is its shallow penetration and very limited volume of metal melting, that practically denies any formation of IMCs, thus making this technique a feasible alternative for dissimilar metal joining where keyhole mode welding is limited by light absorption, or results in an IMC rich (brittle) welding seam. Conduction mode laser welding can also be used if we can't achieve a perfect fit between the metal parts to be joined, as it uses a larger beam spot size (defocused beam) in comparison to deep penetration laser welding [8].

During *deep penetration or keyhole mode laser welding*, typically proceeding at much larger energy densities than conduction welding, both the base and upper metal layers melt and a keyhole is formed between them. In the keyhole a mixture of the two metals is present in multiple phases (solid, liquid, vapor and even plasma) and the various chemical and physical processes taking place are far more complex. The detailed discussion of these processes is very challenging and difficult to model. The energy coupling in this mode is excellent since the energy of the laser beam is absorbed by multiple reflections happening along the keyhole's walls, thus making the process energy efficient and fast if a powerful enough laser source is used. Keyhole mode welding requires a very precise material fit up and delicate parameter tuning, but provides a versatile, very fast solution for joining almost every metal combination (low solubility metal combinations result in IMC rich, brittle joints) [4][8].

The third frequently used laser welding type is called *laser braze welding or laser welding with filler metal*. The name already reflects that this laser joining technique is the combination of keyhole mode laser welding and laser brazing. In this joining method additional metal or metals (usually in form of a wire) are added to the weld pool during welding. This metal additive provides several benefits like eliminating certain weld defects (for example undercutting) or resulting in better chemical, mechanical or electrical properties via forming an alloy with the other metals. In certain cases, it even allows the welding of imperfectly fit up parts in special joint geometries. In terms of geometries laser braze welding is possible in every case where standard laser welding is applicable, however the precise adjustment of filler metal wire alignment and feed rate is essential. When metal combinations with low solubility and very different melting points are to be welded/bonded (e.g. aluminum and iron) the use of a filler metal is unavoidable during keyhole mode welding, i.e. actually laser braze welding is realized [8][10].

The role of protective gases in laser welding

As mentioned above laser keyhole mode welding requires a large enough energy density to melt both metal components. The required magnitude of energy density usually ionizes the gas above the metal target and a plasma plume is formed resulting in a substantial energy loss. To reduce the energy loss in the gas and to protect the molten metal pool from undesirable chemical reactions a shielding gas atmosphere is usually applied. The gas or mixture of gasses needs to have a high enough ionization energy to prevent plasma formation and the gas cannot form a compound with the given metals in order to protect them from contamination and oxidization. Because of these reasons noble gases (or combinations of them) are used for this purpose. The effect of the presence of different shielding gases on the weld of a steel plate (6 mm thick) produced with a continuous wave CO₂ laser (5 kW power) is shown in Figure 4 [8].

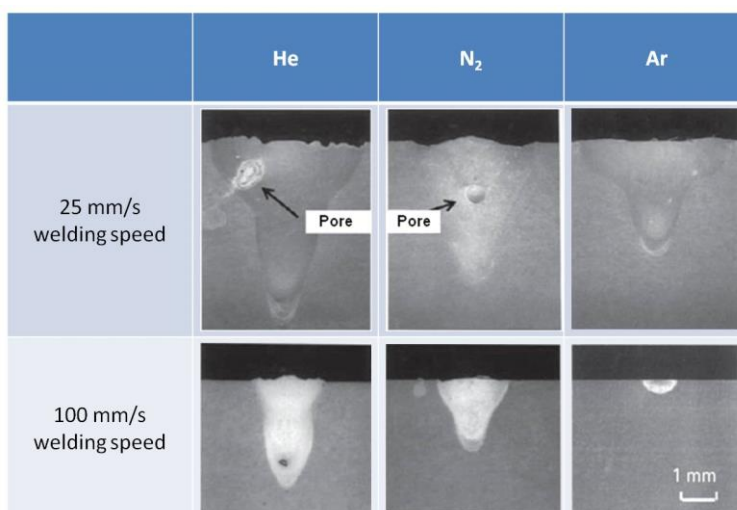


Figure 4 The effect of shielding gas on the weld quality [8]

It can be seen that the presence and material of the shielding gas atmosphere can have radical effects on the weld quality.

LASER BRAZING AND LASER WELDING FOR BATTERY JOINING

Based on the previously discussed properties, advantages and disadvantages it is clear that laser keyhole welding and laser brazing are the two best candidate laser bonding techniques for battery pack assembly. Laser keyhole welding in particular shows great potential and is a widely studied method. In this section we will show how laser keyhole mode welding is applied for cylindrical type lithium-ion battery cell joining and we will present a few results that can further improve the already good qualities of this technique in order to make the process more consistent which improves reproducibility (that is a key prerequisite for the application in aviation).

Spot welding and seam welding

Battery cell laser welding can be achieved with both laser mode types namely: pulse and continuous wave mode lasers. In engineering practice according to the weld there are two types of battery laser welding methods: spot welding and seam welding. Spot welding is the simplest form of laser welding (both conduction and deep penetration mode is possible) and is performed

by a single, high energy laser impulse (sometimes a series of pulses) focused onto a specific area on the target surface. Spot welding is less desirable and is rarely realized with continuous wave mode lasers as it provides a small contact area and thus it usually results in a joint with weak mechanical properties [4][7].

In the field of batteries, another, more common type of laser welding scheme is applied, the so called seam welding. In laser seam welding the parts to be welded are rotated or moved under the laser focus head allowing a continuous (or overlapping spot) weld bead to form. In general it results in an all-around better joint and can also be used both for conduction and deep penetration mode welding. Seam welding can be achieved by both pulsed and continuous wave mode lasers. Using a continuous wave is self explanatory and pulsed mode can also tend towards seam formation at high pulse repetition frequency and a large overlap factor [7][11].

The effect of temporal and spatial modulation in seam welding

According to various research groups seam welding of battery cells can be made more stable by certain special alterations during the welding process.

Spatial power modulation

One of these special modifications is called spatial modulation of the laser beam. Spatial power modulation is the process when the relative position of the continuous wave mode welding laser beam and the metal targets to be welded is changed. This can easily be achieved by a laser welding setup equipped with a three dimensional galvanometric scanner head. The patterns in which this method can be realized is limitless, but engineering practice shows that a spiral pattern is by far the most efficient [12][13].

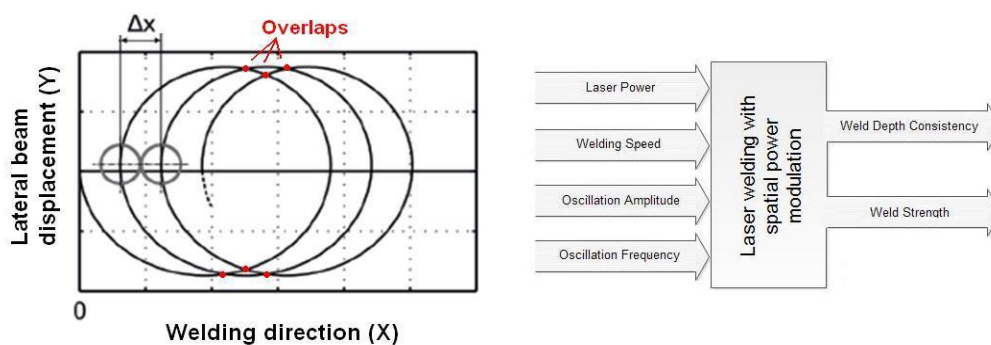


Figure 5 Spatial laser power modulation and its parameters [12]

As shown in Figure 5 spatial power modulation has four basic process parameters that can influence the properties of the formed weld. Two of these, namely the oscillation frequency and amplitude are specific for this particular kind of alteration of the regular seam welding technique. In the following we will discuss the effects of these modulation parameters on the formed joint's properties.

On one hand the oscillation amplitude has an effect on process reproducibility by influencing the consistency of the weld depth. Consistency of the weld depth is defined as a quotient of the maximum and minimum value of the penetration depth. The effect of the modulation amplitude on the uniformity of the penetration depth can be seen in Figure 6 at three different overlap factors (which is also related to the speed of welding) [12][14].

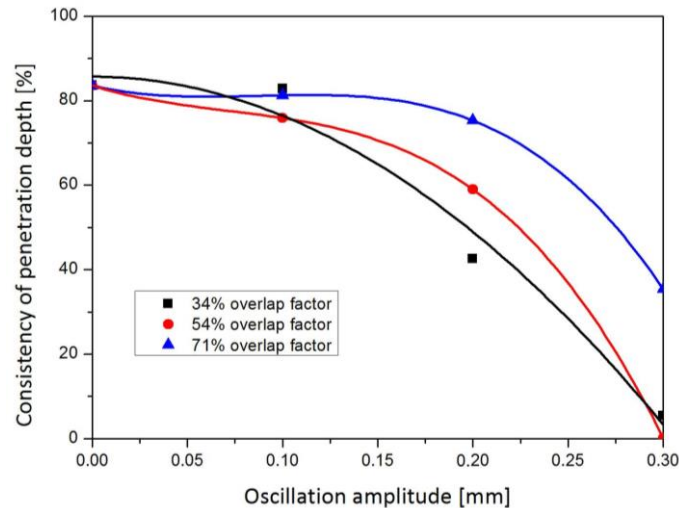


Figure 6 The effect of spatial laser power modulation amplitude on weld depth consistency [14]

In general, a rather small value of the oscillation amplitude is desirable with a large overlap factor (which will reduce the overall weld speed) for achieving the most consistent results.

On the other hand, both the frequency (a) and amplitude (b) of the modulation (when every other parameter are the same) has an effect on weld strength, which are shown in Figure 7 at several different laser power values [13][15].

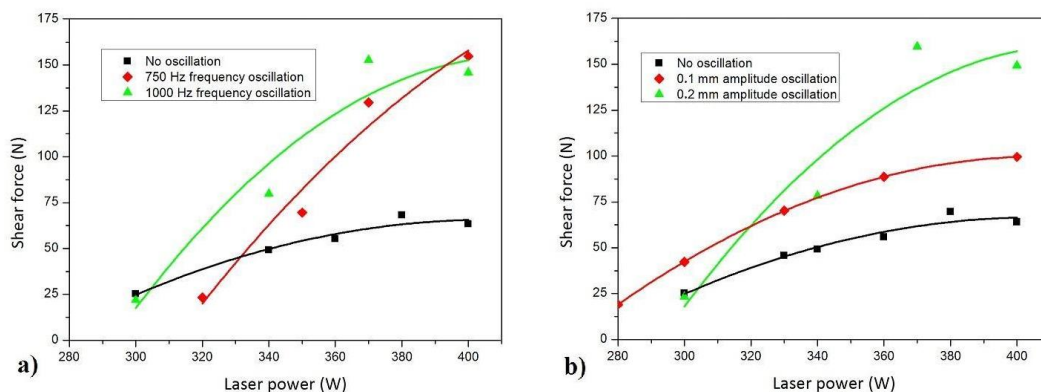


Figure 7 The effect of modulation frequency (a) and modulation amplitude (b) on joint strength [15]

These results clearly indicate that at lower laser power values the effect of the spatial power modulation parameters is minor. However with increasing laser power the span of the achievable joint strengths will be increased. The results show that the higher frequency and larger amplitude oscillation results a stronger bond [15].

As a summary, spatial power modulation (with optimally chosen parameters) results in an increased volume of molten metal and weld width which provides a larger contact area (stronger bond) and improves reproducibility by stabilizing the weld depth.

Temporal power modulation

The other significant modulation technique that is gaining more and more ground in laser welding is temporal power modulation. In this process the power of the continuous wave mode laser is being changed in time during processing. The most common method is to use a sinusoidal temporal power modulation around the deep penetration threshold power value. However, other

temporal power waveforms can also assist the welding process. For example applying a low plateau power at the beginning of the process can increase energy coupling via preheating, while slowly increasing the laser power at the start of the welding process can reduce metal spatter formation or slowly decreasing power at the end of the welding process can reduce undercutting effects [13][16].

Here we will only review the effect of the sinusoidal power modulation. The effect of sinusoidal temporal laser power modulation frequency on weld depth can be seen in Figure 8. In these measurements the modulation was performed around the deep penetration threshold of the given metal and the penetration depth (which is related to weld strength) and the number of melt ejections (that is in connection with surface smoothness and keyhole stability) was counted [16].

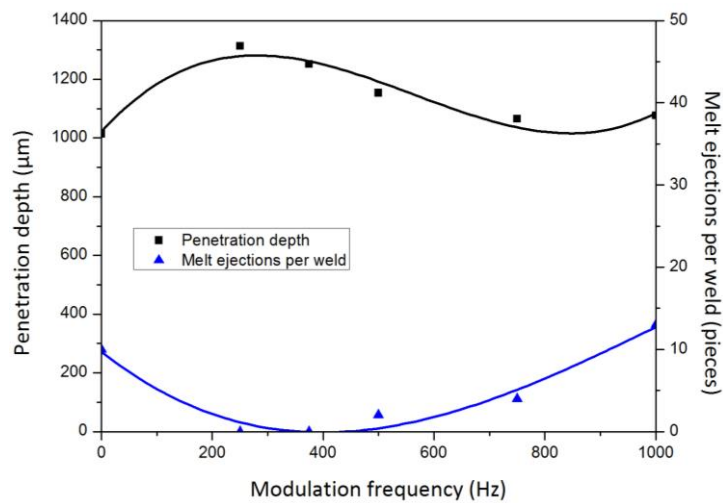


Figure 8 The effect of temporal (sinusoidal) laser power modulation frequency on weld properties [16]

These results show that the power modulation frequency has an optimum value which results in the deepest penetration and the lowest number of melt ejections [16].

In summary, temporal power modulation in itself can reduce the molten metal ejection effect that occur during welding and thus results in a smoother weld bead and can result in a stronger joint via promoting deeper penetration. It is important to note that temporal modulation requires very precise adjustments and calibration to determine the optimum process parameters [13][16].

Both spatial and temporal power modulation can be applied individually or simultaneously in any battery cell seam welding application to improve weld properties, but they have to be adjusted and designed with care. In Figure 9 a schematic sketch of a typical laser setup can be seen in which these methods can be realized for joining the poles of battery cells [13].

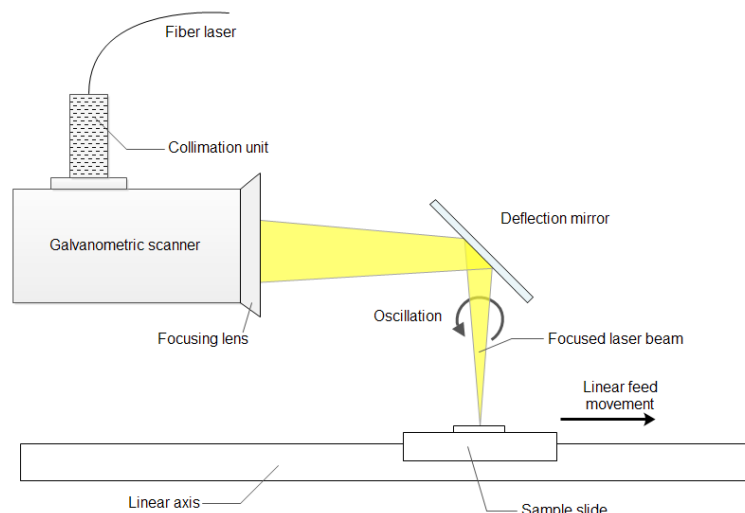


Figure 9 Schematic sketch of a laser welding setup [14]

Comparison of conventional and laser joining techniques

In the previous section we presented the most wide spread realizations and modern perspectives of applied laser welding for metal and battery cell joining. As a final note, we will show that according to currently available research data, laser brazing and laser welding do indeed provide a very good quality (both in terms of mechanical and electrical properties) joint suitable for any industrial sector, including aviation, that requires a fail-safe joining solution.

A comparison of different welding and brazing techniques in terms of electrical resistance (a) and joint strength (b) can be seen in Figure 10 [17][18].

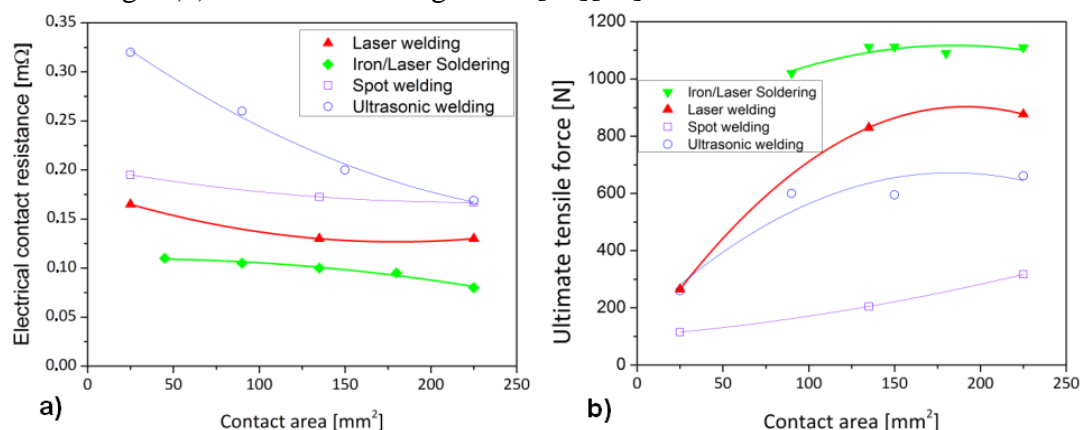


Figure 10 Electrical resistance (a) and mechanical strength (b) of joints produced with different welding and soldering techniques [17][18]

It is obvious that laser welding and laser brazing has superior performance over conventional joining methods. They are the most suitable and versatile joining techniques available as of date for joining battery cells for electrical airplanes as they provide the best mechanical and electrical property joints with good reproducibility among other beneficial properties (e.g. internal stress free, corrosion resistant, etc.).

CONCLUSIONS

In this paper we described how the battery pack of a full or partially electric aircraft is built and introduced various mechanical and metallurgical joining techniques that are potentially applicable at various levels of the battery assembly procedure.

A basic overview of brazing, soldering and welding was presented with special attention to laser assisted methods. The laser joining techniques, alongside with their subdivisions, were thoroughly described. We have shown that the laser bonding procedures, most notably laser welding and laser brazing, indeed result in a joint with superior mechanical and electrical properties as compared to alternative joining methods. Beyond that it was also shown, that laser based techniques are exceptionally promising for their application in aviation due to their reliability, reproducibility and ease of automation.

This work is supported by the Hungarian EFOP-3.6.1-16-2016-00014 project, entitled "Research and development of disruptive technologies in the area of e-mobility and their integration into the engineering education".

REFERENCES

- [1] R. Cipin, J. Kadlec, B. Klima, P. Hutak: Battery System for the Airplane VUT 051 RAY, ECS Transactions, 48 (1) 217-222 (2014)
- [2] I. Gál, I. Jankovics, Gy. Bicsák, Á. Veress, J. Rohács, D. Rohács: Conceptual design of a small 4-seater aircraft with hybrid propulsion system, IFFK 2017 (2017)
- [3] S. Shawn Lee, Tae H. Kim, S. Jack Hu, Wayne W. Cai, Jeffrey A. Abell: Joining Technologies For Automotive Lithium-Ion Battery Manufacturing – A Review, MSEC2010-341682010, (2010)
- [4] John F. Ready: LIA Handbook of Laser Materials Processing, Magnolia Publishing Inc., (2001)
- [5] Kelly Ferjutz, Joseph R. Davis: ASM Handbook Vol6 Welding, Brazing and Soldering, ASM International, (1993)
- [6] C. Dawes: Laser Welding – A Practical Guide, Abington Publishing, (1992)
- [7] MengChu Zhou: Advances in battery manufacturing, services, and management systems, IEEE Press, (2016)
- [8] Katayama S.: Handbook of laser welding technologies, Woodhead Publishing, (2013)
- [9] Junjie Ma, Masoud Harooni, Blair Carlson, Radovan Kovacevic: Dissimilar joining of galvanized high-strength steel to aluminum alloy in a zero-gap lap joint configuration by two-pass laser welding, Materials and Design 58, 390–401, (2014)
- [10] U. Dilthey, D. Fuest, W. Scheller: Laser welding with filler wire, Opt.andQuantumElectronics 27 1181-1191, (1995)
- [11] Philipp A. Schmidt, Patrick Schmitz, Michael F. Zaeh: Laser beam welding of electrical contacts for the application in stationary energy, Laser Appl., Vol. 28, No. 2, (2016)
- [12] M. Schweier, J. F. Heins, M. W. Haubold, M. F. Zaeh: Spatter formation in laser welding with beam oscillation, Phys.Proc. 41 20-30, (2013)
- [13] Felix Schmitt, Benjamin Mehlmann, Jens Gedicke, Alexander Olowinsky, Arnold Gillner, Reinhart Poprawe: Laser Beam Micro Welding With High Brilliant Fiber Lasers, JLMN-Journal of Laser Micro/Nano-engineering Vol. 5, No. 3, (2010)
- [14] A. Haeusler and A. Schürmann, C. Schöler, A. Olowinsky, A. Gillner and R. Poprawe: Quality improvement of copper welds by laser microwelding with the usage of spatial power modulation, Laser_Appl. v29 n2, (2017)
- [15] Benjamin Mehlmann, Elmar Gehlena, Alexander Olowinsky, Arnold Gillner: Laser micro welding for ribbon bonding, Phys.Proc. 56 776-781, (2014)
- [16] Andreas Heider, Peter Stritt, Axel Hess, Rudolf Weber, Thomas Graf: Process Stabilization at welding Copper by Laser Power Modulation, Phys.Proc. 12 81–87, (2011)
- [17] Martin J. Brand, Philipp A. Schmidt, Michael F. Zaeh, Andreas Jossen: Welding techniques for battery cells and resulting electrical contact resistances, Journal of Energy Storage 1 7–14, (2015)
- [18] Martin J. Brand, Elisabeth I. Kolpa, Philipp Berga, Tobias Bachb, Philipp Schmidc, Andreas Jossen: Electrical resistances of soldered battery cell connections, Journal of Energy Storage 12 45–54, (2017)

**A LÉZERES KÖTÉSEK REPÜLŐGÉP-IPARI ALKALMAZÁSA AZ ELEKTROMOS
HAJTÁSRENDSZEREK AKKUBANKJAIBAN**

Az összefoglaló tanulmányunkban bemutatásra kerülnek a repülőgépiparban megjelenő modern hibrid és elektromos hajtásrendszerű kisrepülőgépek akkubankjának összeállítása során alkalmazott kötési technikák, különös figyelmet fordítva a legkorszerűbb lézeres eljárásokra. A konvencionális és modern hegesztési és forrasztási eljárásokat részletesen bemutatjuk és különféle szempontok alapján összevetjük egymással. A számos szakirodalmi eredmény alapján a lézeres technika automatizálhatósága, megbízhatósága és további számos előnyös tulajdonsága miatt rendkívül ígéretesnek tűnik a fenti célokra, melyet tanulmányunkban alátámasztunk. Munkát az EFOP-3.6.1-16-2016-00014 számú, „Diszruptív technológiák kutatásfejlesztése az e-mobility területén és integrálásuk a mérnökképzésbe” című pályázat támogatja.

Kulcsszavak: elektromos és hibrid hajtású repülőgép, Lítium-ion cellák, elektromos cella összeállítás, lézeres kötés, Lézeres hegesztés

Horváth Gábor (MSc) PhD hallgató Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikai Intézet Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék horvathgabor@titan.physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-6835-4230	Horváth Gábor (MSc) PhD Student University of Szeged Faculty of Science and Informatics Institute of Physics Department of Optics and Quantum Electronics horvathgabor@titan.physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-6835-4230
Körmöczi Andor (MSc) PhD hallgató Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikai Intézet Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék kandor@titan.physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-3917-4636	Körmöczi Andor (MSc) PhD Student University of Szeged Faculty of Science and Informatics Institute of Physics Department of Optics and Quantum Electronics kandor@titan.physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-3917-4636
Dr. Vass Csaba, PhD tudományos munkatárs Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikai Intézet Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék vasscsaba@physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0003-1443-3360	Dr. Vass Csaba, PhD Research Fellow University of Szeged Faculty of Science and Informatics Institute of Physics Department of Optics and Quantum Electronics vasscsaba@physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0003-1443-3360
Dr. Geretovszky Zsolt, PhD egyetemi Docens Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikai Intézet Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék gero@physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-7878-9174	Dr. Geretovszky Zsolt, PhD Associate Professor University of Szeged Faculty of Science and Informatics Institute of Physics Department of Optics and Quantum Electronics gero@physx.u-szeged.hu orcid.org/0000-0002-7878-9174



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-05-0421_Horvath_Gabor_et_al.pdf

Nagy Sándor

A TERMÉSZETI ÉS CIVILIZÁCIÓS VESZÉLYFORRÁSOK KAPCSOLATA A LAKOSSÁGVÉDELEMMEL, A DRÓNOK SZEREPE A HATÉKONY ESEMÉNYKEZELÉSBEN

Axiomaként kijelenthető, hogy az információ az hatalom. Ennek megfelelően a XXI. század globalizálódó világában az egymással versengő médiumok, megszakítás nélkül árasztják ránk híreiket. Szinte nem telik el úgy nap, hogy ne látnánk képsorokat természeti katasztrófákról, háborúkról, válságokról. A katasztrófák csoportosítására, osztályozására számos kísérlet született, a klasszikus elmélet alapján, az eredetük szerint alapvetően két nagy részre oszthatóak, a természeti és civilizációs katasztrófákra. A civilizációs katasztrófák alcsoportjába tartozó veszélyek, úgymint a társadalmi katasztrófák (pl. háború, terrorizmus, migráció) vagy az ipari szerencsétlenségek nagyobb média figyelmet kapnak, mint a természeti veszélyek által keltettek. A cikk célja bemutatni és statisztikai adatokkal igazolni, hogy a lakosságvédelem szempontjából, a média által keltett benyomással szemben a természeti katasztrófák hatásai a meghatározóbbak.

Kulcsszavak: természeti katasztrófák, ipari katasztrófák, társadalmi katasztrófák, eseménykezelés, légi eszközök

BEVEZETÉS

Az Egyesült Nemzetek Szövetségének (ENSZ) Katasztrófacsökkentési Hivatala adatai alapján, az 1995-2015 között eltelt húsz év során összesen 6457 katasztrófát rögzítettek. Az elmúlt két évtizedben a katasztrófák világszerte 606 000 életet követeltek, évente átlagosan mintegy 30 000 embert, további 4,1 milliárdan sebesültek, hajléktalanok lettek, vagy sürgősségi ellátást igényeltek. Az ENSZ nyilvántartás csupán 35%-a tartalmaz gazdasági információkat, így az EM-DAT¹ szerinti 1,891 milliárd USA dollár gazdasági kár csak viszonyítási értéként szolgál, amely alapján, a nemzeti adatokat is figyelembe véve, a Hivatal extrapolációja alapján, éves szinten a gazdasági kár 250-300 milliárd USD [1] összeget érhet el.

Az ENSZ adatbázis azonban nem teljes, ugyanis a katasztrófátípusok osztályozására több elmélet létezik. Magyarországon a települések katasztrófavédelmi osztályba sorolását leíró jogi szabályozás [2] hazánkban először osztályozta a katasztrófátípusokat, 4 csoportba rendszerve azokat: (1) „*elemi csapások, természeti eredetű veszélyek*”, (2) „*ipari szerencsétlenség, civilizációs eredetű veszélyek*” (3) „*egyéb eredetű veszélyek*” (4) „*kritikus infrastruktúrákkal kapcsolatos kockázatok*”. Az EM-DAT, ezzel szemben két nagy csoportra osztva rögzíti a statisztikai adatokat, eredetük szerint (1) „*természeti*”, és (2) „*technológiai*” katasztrófákra csoportosítva. A technológiaiak belül találhatóak meg az ipari, közlekedési és egyéb a tevőleges, vagy mulasztásos emberi magatartás által előidézett katasztrófák. Látható, hogy a társadalmi veszélyek, úgymint háború, terrorizmus, alkotmányos rend megdöntése, illetve az ezekhez a folyamatokhoz kapcsolódó migráció mindkét osztályozásból kimaradtak. A veszélyeztető hatások ellen a lakosságot és az anyagi javakat védeni kell. A cikk célja vázlatosan bemutatni

¹ EM-DAT: Emergency Events Database, az ENSZ által működtetett Veszélyhelyzeti Események Adatbázisa

a lakosságvédelmet biztosító szervezetrendszer, a lakosságvédelmen keresztül a katasztrófák csoportosításának egy átfogóbb megközelítését, illetve ezek statisztikai adataival igazolni a természeti veszélyforrások elsődlegességét, továbbá a megelőzés, a detektálás és a hatékony kárfelszámolás jelenlegi gyakorlata alapján vázlatosan ismertetni a drónok növekvő szerepét.

LAKOSSÁGVÉDELEM

A lakosságvédelem tartalma a hazai jogszabályokban nem kerül meghatározásra, ugyanakkor a kifejezést a szakirodalom, és a Kat. Vhr². VII. fejezete is használja.

A szakirodalomban fellelhető megfogalmazás alapján „a lakosságvédelem az adott területen élők szervezett védelme háború, illetve természeti, és civilizációs katasztrófák, valamint egyéb jellegű rendkívüli események bekövetkeztekor. A lakosságvédelem célja, hogy az események bekövetkeztekor a lakosság életét, egészségét és anyagi javait óvja a káros és pusztító hatásoktól” [3].

Ha a lakosságvédelmi feladatokat történelmük időrendjében tárgyaljuk, akkor három szakaszt különíthetünk el. Az első, a megelőzés, vagy felkészülés időszaka, amelyet a védekezés, illetve kárfelszámolás időszaka követ, és az eredeti helyzet visszaállítását hivatott helyreállítási/újraépítési szakasz zárja le a folyamatot.

Nézzük most meg, milyen feladatok jelentkezhetnek még a lakosság védelme érdekében a különböző időszakokban.

A megelőzés

„A megelőzés a preventív rendszabályok és tevékenységek olyan összetett sorozata, amely a katasztrófa-veszélyek és a katasztrófák kialakulásának megelőzését szolgáló hatósági, szakhatósági, engedélyezési, tervezési, szervezési, kivitelezési, működtetési feladatokat, a tájékoztatási és adatközlési teendőket, valamint a kialakult helyzet diktálta szükséges biztonsági rendszabályok bevezetését és azok betartásának ellenőrzését foglalja magában.” [4]

A megelőzés időben egy olyan esemény előtt helyezkedik el, amelynek hatásai ellen a lakosság életét és anyagi javait védeni kell, így ez az időszak egyben az azokra történő felkészülés időszaka is. A felkészülés tekintetében elsődleges fontosságú a lehetséges veszélyforrások felismerése, azonosítását és azok hatósági eszközökkel történő felügyelet alatt tartása. *Hatósági eszközök* alatt az adott veszélyeztető hatásnak megfelelően a kockázat csökkentését hivatott szabályrendszer lefektetését, és az annak való megfelelés elérését, ellenőrzését, valamint szükség esetén annak kikényszerítését kell érteni.

A veszélyforrások azonosításával és hatósági eszközökkel való felügyelet alatt tartásával a lakosság élet- és vagyonbiztonságának alappilléreit rakjuk le. A pusztán hatósági módszereken alapuló lakosságvédelem ideológiája azonban megvalósíthatatlan.

Vannak olyan, főként természeti jellegű katasztrófatípusok, ahol nem lehet a felügyeletet a szó szerinti értelemben megvalósítani. Ilyen esetekben mindig a védekezéshez kapcsolható anyagi

² Kat. Vhr.: a katasztrófavédelmi törvény végrehajtási rendelete, lásd: [2]

és infrastrukturális háttér meglétét, kiépítettségét és használatba vételre kész állapotban tartását lehet és kell hatósági módszerekkel ellenőrizni. A főbb ipari baleseteket vizsgálva az elsődleges okok 50%-ban emberi hibára, 24%-ban technikai meghibásodásra, 10%-ban irányítás nélküli kémiai reakciókra, és 16%-ban egyéb külső tényezőkre vezethetők vissza [5]. Látható, hogy a védekezéshez szükséges anyagi és infrastrukturális háttér megléte ezen a területen is megkerülhetetlen, mivel ennyi emberi hibát nullára redukálni hatósági módszerekkel lehetetlen, hiszen minden ember mellett nem állhat ott a hatóság.

Ebbe az időszakba tartozik még egyrészt az aktív lakosságvédelmi tevékenységet végrehajtó erők megalakítása, felszerelése és feladatra történő kiképzése, másrészt a szükséges eszközök kijelölése és biztosítása, harmadrészt a védekezés anyagi, tárgyi, logisztikai feltételeinek megteremtése, negyedrészt a lakosság riasztási módjainak megszervezése és végül az előzőekhez kapcsolódó tervezések. A teljes lakosságvédelmi tevékenység sikerének biztosítása gyakorlatilag ebben az időszakban kezdődik. Már ekkor meg kell határozni azokat a tényezőket, amelyek teljesülése vagy elmaradása biztosítja, illetve gátolja a tevékenység végső célját, vagyis a lakosság biztonságának szavatolását.

Ezek a tényezők az alábbiak:

1. a releváns veszélyforrások feltárása, a kockázataik értékelése, és kezelése különböző, a hatás vagy a bekövetkezési esély mérséklését, kiküszöbölését célzó eljárásokkal;
2. a használható teljes szegmensek érintő kapacitás kiépítés, amely felöleli a szükséges eszközöket, szállítási, elhelyezési és ellátási területeket;
3. a reagáló képesség kialakítása, ami magába foglalja a monitoring és riasztási feladatokat biztosító rendszert, kiegészítve a helyzet kezelésébe bevonható erők kialakításával, felkészítésével, felszerelésével, készenlétbe tartásával, valamint az erő sokszorozásának biztosításával.

A védekezés

A védekezési időszak elsődleges prioritású feladata az életvédelem, és ezt követi az anyagi javak védelme. A lakosságvédelem – abból az alapfeltételből kiindulva, hogy léteznie kell egy fennálló, vagy nagy valószínűséggel bekövetkező veszélyeztető hatásnak, – sosem egyedüli tevékenység. Mindig együtt jár az előidéző ok megszüntetését, a keletkező károk enyhítését célzó kárfelszámolási, kárenyhítési tevékenységekkel, lecsupaszított értelemben a *mentéssel*.

A mentés céljai sokrétűek, egyaránt szólnak a további károk megakadályozásáról, a keletkező károk elhárításáról, vagy ha az nem lehetséges, azok mérsékléséről, felszámolásáról és nem utolsósorban időnyerésről az olyan emberi élet védelmét szolgáló lakosságvédelmi intézkedések végrehajtásához, mint amilyen a kimenekítés és elzárkóztatás.

Az esemény bekövetkezését követően mindig kétirányú riasztással kell számolni. Egyik az azonnal reagáló, rendszerint készenlétben tartott hivatásos mentőerők riasztása, a másik az esemény károsító hatásának kitett területen élő lakosságé, amihez kapcsolódóan az aktív lakosságvédelmi tájékoztatásról is gondoskodni kell.

Az elmúlt időszak katasztrófáit elemezve megállapítható, hogy a lakosságvédelmi feladatok nagyban függenek a katasztrófa kialakulásának és eszkalálódásának folyamatától. Illeszkedniük kell az egyéb olyan feladatokhoz, mint például a kárelhárítás, de mindig, minden tekintetben prioritást élvez az életmentés. Mint minden szervezett folyamat, a lakosságvédelem is döntések

sorozatán alapszik. A kárfelszámolási feladatok mindig valamilyen riasztási értesítéssel indulnak. A bejelentést vevő szolgálat³ már ekkor információkat gyűjt a kialakult helyzetről, ezen adatok alapján riasztja az elsődlegesen beavatkozó erőket.

Az elsődlegesen beavatkozó mentőerők helyszínre érkezésekor azonnal megkezdik az általános felderítési feladatok végrehajtását [6]. Ezekből az irányító ügyeleti szolgálat újabb releváns információkhoz juthat, amelyekből további azonnal indítható mentőerőket küldhet a helyszínre, vagy azok akadályoztatása esetén (a polgármester döntése alapján) módja és lehetősége van a település önvédelmi erejét képező polgári védelmi szervezetek bevonására, illetve az ezeknél gyorsabban reagáló önkéntes mentőcsoportok, valamint szükség esetén a karitatív szervezetek riasztására.

A helyszínen tevékenykedő beavatkozó erők elsődleges feladata az életmentés. Ebben a tekintetben már megjelennek a lakosságvédelmi feladatok is, hisz a csoportos lakosságvédelmi intézkedéseket (például kimenekítés, vagy elzárkóztatás) már ebben a stádiumban bevezetheti a mentésirányító. Az életmentéssel párhuzamosan, de azt kiszolgálva, valamint az életmentést követően is folyik a helyszínen a kárelhárításra, a további károk kialakulásának megelőzésére irányuló tevékenység. Ennek folyamán a lakosságvédelmi feladatok között megtalálhatjuk a kitelepítést, illetve a már korábban kimenekített terület kiürítését, valamint a kimenekítéshez, kitelepítéshez és kiürítéshez kapcsolódó befogadást is. A kárfelszámolási feladatok gyakorlatilag átmenet nélkül mennek át az eredeti helyzet visszaállítására irányuló törekvésekbe, amely időszakban a lehetőségek függvényében kerül sor a visszatelepítésekre.

A helyreállítás

A helyreállítási időszak feladata az eredeti helyzet visszaállítása, az életvitel szerű lakhatás és működés feltételeinek megteremtése. Ezen feladatok közé tartozik a kárfelszámolást követő járvány és egészségügyi fertőtlenítés, a megrongálódott, sérült infrastruktúra helyreállítása, az alap, illetve kötelező ellátást biztosító közigazgatási, rendvédelmi, egészségügyi, oktatási adminisztráció visszaállítása, a mezőgazdasági, a feldolgozó, szolgáltató, könnyű és nehéz ipari termelés feltételeinek megteremtése, valamint a lakosság és az anyagi javak elhelyezését biztosító ingatlanok rendeltetés szerinti állapotra történő javítása.

A helyreállítás a károk felméréseivel már a kárfelszámolás időszakában indul, és a közvetlen veszély elmúltával realizálódik. Az időszak addig tart, míg a kívánt célt, a katasztrófát megelőző időszakot leginkább tükröző helyzetet el nem érik.

A védelmi igazgatás

Láthatjuk, hogy a normál időszaki működés idején mindig van egy indikátor, amelyre a lakosságvédelmi mechanizmus beindul. Ez mindig egy olyan esemény, vagy annak valós bekövetkezési esélye, kockázata, amely a lakosság számára reális veszélyt jelent. A lakosságot veszélyeztető hatásokat külön fejezetben fogom sorra venni, de az eddigiek alapján is egyértelműsíthető, hogy különböző fajtájú veszélyekről beszélhetünk. Az ezekre való reagálás a jogállamiságnak megfelelően egy hatás- és illetékességi kör szerint jogszabályban nevesített

³ Katasztrófavédelmi igazgatóságok ügyelete, a rendőrségi tevékenység irányító központok, illetve a 112 egységes segélyhívás fogadó központok.

szervezet, valamint a veszélyeztető hatás szerinti együttműködő szervezetek (állami) tevékenységével valósul meg. Abban az esetben, ha a normál idejű együttműködési képességek már nem elegendőek, akkor a fenyegető veszély elhárítására egy speciális időszak kerül kihirdetésre, amelyet Magyarország Alaptörvénye különleges jogrendnek nevez.

Az alaptörvény szerinti különleges jogrendi időszakok a következők [7]:

1. a hadiállapot, vagy háborús veszély esetén a rendkívüli állapot;
2. a törvényes rend megdöntésére vagy a hatalom kizárólagos megszerzésére irányuló fegyveres cselekmények, továbbá az élet- és vagyónbiztonságot tömeges méretekben veszélyeztető, fegyveresen vagy felfegyverkezve elkövetett súlyos, erőszakos cselekmények esetén a szükségállapot;
3. a fegyveres támadás veszélye esetén, vagy szövetségi (NATO) kötelezettség teljesítése érdekében a megelőző védelmi helyzet;
4. terrortámadás jelentős és közvetlen veszélye vagy terrortámadás esetén terrorveszélyt;
5. a haza területére betört külső fegyveres csoport támadásának elhárításra a váratlan támadás;
6. az élet- és vagyónbiztonságot veszélyeztető elemi csapások, ipari szerencsétlenségek elhárítására, a következmények felszámolására a veszélyhelyzet.

A különleges jogrend fentebb sorolt időszakainak jellemzője, hogy az állami főhatalom biztosításával a normál időszaktól eltérő szabályozás vezethető be⁴, amelynek alkalmazásával a fenyegetés ellen hatékonyan lehet fellépni. A főhatalom megtestesülését a védelmi igazgatás rendszere biztosítja, amely az állam komplett védelmét hivatott ellátni, a rendszer elemei az időszakok – fenyegetés – szerint változó hatalmi centrum, a területi védelmi bizottságok, a helyi (járási és kerületi) védelmi bizottságok, valamint települési szinten a polgármester.

A hatalmi centrumok az 1. pont esetén a népakaratot megtestesítő parlament által létrehozott Honvédelmi Tanács, a 2. pont idején az Országgyűlés, a 3–6. pontok esetében, a jogszabályi fékek és ellensúlyok alkalmazásával a Kormány. A védelmi igazgatási feladatrendszer szervezetenként a közigazgatásra épül, annak részét képezi, és az említett időszakok hon-, rend- és polgári védelmi feladatainak tervezését, azokra történő felkészülést és a feladatok végrehajtását kiegészítve az időszakokra való felkészülés és a helyzet kezelés feltételeit biztosító védelemgazdasági tevékenységekkel és a lakosság ellátásával [8].

KATASZTRÓFÁK FŐBB TÍPUSAI, GYAKORISÁGUK

Az előző alcímben szereplő felsorolás alapján látni lehet, hogy a fegyveres válsághoz köthető veszélyekre mintegy 5 különleges jogrendi elem került meghatározásra, miközben az „elemi csapásokat” és „ipari szerencsétlenségeket” egy jogrendi elem alá rendeli. Vagyis a jogi szabályozásban megjelenik egy olyan veszélyforrás, amely nem természeti eredetű, ugyanakkor nem is ipari okokra vezethető vissza. A probléma megoldására többfajta lehetséges osztályozási módszer került kialakításra, ezek közül a talán logikailag legjobban védhető, a „*civilizációs katasztrófák*” csoportjának megfogalmazása, amely egyaránt tartalmazza az ipari (technológiai) típusú, a társadalmi típusú katasztrófákat, illetve ide sorolta a biológiai jellegű fertőzéseket is [9]. Talán a legnagyobb szemantikai vita a biológiai eredetű járványok katasztrófavédelmi besorolása

⁴ Kivéve az alaptörvény II., III., valamint a XVIII. cikk 2-6 pontjaiban biztosított alapvető emberi jogok, és az ártatlanság védelme.

terén volt tapasztalható. A 2014. évi nemzeti kockázatértékelés [10] hasonlóan az ENSZ katasztrófastatisztikai oldalának osztályozási rendszeréhez, a természeti veszélyforrások közé illesztette be ezeket. Kísérletet téve a helyzet szakmai érveken nyugvó tisztázására, ha abból a tézistől indulunk ki, hogy a civilizációs katasztrófákhoz az emberi individuum akaratlagos, vagy mulasztásos tevékenysége járul hozzá, akkor a biológiai eredetű járvány nem tekintendő civilizációs katasztrófátípusnak, mivel annak elsődlegesen elszenvedője lehet az ember, és nem az előidézője az ember.⁵ Ha más nézőpontból vizsgáljuk, és nem kifejezetten a humán járványokra szűkítjük az értelmezést, ebben az esetben is kijelenthető, hogy az ember tevékenységétől függetlenül kialakuló katasztrófáról van szó, így a járványokat összességében indokolt a természeti veszélyforrásokhoz sorolni. A humán járványok tekintetében hosszú vitát lehetne folytatni a kérdésben, de véleményem szerint a járványok természeti besorolását indokolják az azokhoz köthető kórokozók is, amelyek vírus vagy baktérium formájában kerülnek be a szervezetbe. Ezeknek a mikroorganizmusoknak a kialakulása nem köthető kizárólagosan az emberhez, annak ellenére, hogy a legtöbb esetben csak más élőlényekben képesek huzamosabb ideig fennmaradni. A fentiek figyelembe vételével úgy gondolom, a katasztrófákat az alábbi három nagy csoportba bontva célszerű vizsgálni:

1. természeti katasztrófák (hidrológiai, geológiai, meteorológiai, biológiai, földön kívüli stb.)
2. technológiai katasztrófák (ipari, nukleáris, közlekedési katasztrófák, nem természeti eredetű tüzek stb.)
3. társadalmi katasztrófák (háborúk, zavargások, terrorveszély stb.).

Az ENSZ bevezető részben hivatkozott tanulmánya⁶ alapján a 2005-2015 közötti időszakban a katasztrófák túlnyomó többségét (90%) árvizek, viharok, hőhullámok és egyéb időjárási események okozták. Az ENSZ adattár felhasználói engedélyhez kötött, ezért, annak hiányában csak szekunder kutatással, az adattárból készült publikációk alapján tudunk következtetéseket levonni. Ugyanakkor a fenti arány alapján kijelenthető, hogy a vizsgált húsz évben legalább kilencszer gyakrabban következett be természeti katasztrófa, mint technológiai. Egyértelmű kijelentés nem tehető, hiszen a publikációban szövegesen hivatkozott veszélyforrások nem fedik le a természeti katasztrófák teljes spektrumát, például nem szerepelnek benne a geológiai veszélyek, így az arány a valóságban még inkább eltolódik a természeti katasztrófák irányába. A fegyveres konfliktusok nemzetközi statisztikai adatait több szervezet rögzíti, amelyek közül talán a legautentikusabbnak a Stratégiai Tanulmányok Nemzetközi Intézete (International Institute for Strategic Studies) által vezetett. A szervezet 2017. évi kiadványa [11] szerint a világ fegyveres konfliktusaiban elhalálozott személyek száma folyamatos csökkenést mutat. 2016. évben 157 000 fő, a 2015. évben 167 000, és a 2014. évben 180 000.

Ezek a számok sokkal súlyosabb képet mutatnak, mint a természeti és civilizációs katasztrófáknál korábbiakban ismertett statisztikai adatok (évenkénti átlag 30 000 fő), azonban az adatok területi elvű bontása alapján látható⁷, hogy az Európa/Eurázsiai régióban mindösszesen 1000 ember lett fegyveres konfliktus áldozata. A veszteségek 70%-ban az Ukrajnában zajló válságból erednek. Ehhez képest természeti katasztrófák következtében, Európában 2006-ban 5837, 2007-ben 1665, 2008-ban 807, 2009-ben 1363, 2010-ben 57 073,

⁵ Biológiai fegyverek gyártásából és felhasználásából eredő események kivételével.

⁶ Lásd [1] 5. oldal

⁷ <https://www.iiss.org/-/media/documents/publications/acs/acs%202017/acs-2017-global-conflict-numbers.pdf?la=en>

2011-ben 1670, 2012-ben 1780, 2013-ban 1833, 2014-ben 1129, míg 2015-ben 5165 ember vesztette életét [12]. Az adatokat torzítja, hogy a 2010. évi hőséghullámokban 55 736 ember vesztette életét az Orosz Föderáció területén [13], azonban az éghajlatváltozás miatt a szélsőséges időjárási hatások növekedésére számítani kell.

A DRÓNOK SZEREPE A HATÉKONY ESEMÉNYKEZELÉSBEN

A katasztrófák elleni hatékony küzdelem kritikus pontja az idő. A késedelem visszafordíthatatlan következményekkel járhat, és megakadályozhatja az emberi élet, és anyagi javak hatékony mentését. A pilóta nélküli felderítő eszközök alkalmazási területei szinte végtelenek a katasztrófa által sújtott területen. Kihhasználva azon tulajdonságukat, hogy a vezérlő a veszélyeztető hatástól távol helyezkedik el, a drónok sikeresen alkalmazhatóak majd minden katasztrófatípusnál az alábbi főbb feladatokra:

1. eltűnt személyek felkutatására;
2. kárterület feltérképezésére sérült épületek, utak, hidak azonosítására;
3. nehezen megközelíthető helyek ellenőrzésére, a megközelítési útvonalak kijelölésére;
4. radiológiai, vegyi és biológiai ágensek terjedési irányának, kiszóródásának behatárolására;
5. a földi egységek irányítására;
6. korlátozott szállítási feladatok végrehajtására (teherszállító drónok).

Hátrányuk, hogy rossz időjárási viszonyok, elsődlegesen az erős széllel járó természeti jelenségek, illetve rossz látási viszonyok esetén nem, vagy csak korlátozottan alkalmazhatóak.

Az UAV-re⁸ telepített szenzorok, optikai eszközök álló és/vagy mozgókép továbbítására alkalmasak. A drónok felhasználási szerepe megnőtt a geotudományok területén, mivel lehetővé teszik 3D és 4 D modellek elkészítését különböző algoritmusok segítségével [14]. A képi állományokat térinformatikai rendszerbe feltöltve nagy pontosságú, akár hőtartományú térképi réteg is létrehozható, nagyban megkönnyítve például az eltűnt személyek keresését, ugyanakkor operatív döntéshozatali funkcióra is alkalmasak.

Nem véletlen, hogy Magyarországon is a katasztrófavédelmi feladatok támogatására a jelenleg is használt drónok mellett a KEHOP-1.1.0-15-2016-00003 azonosító számú, „Katasztrófa-kockázatértékelési rendszer” című projekt keretén belül, egy komplex és kollektív térinformatikai alapú, on-line döntéstámogatási rendszer kialakítása van folyamatban, amelynek támogatására drónok beszerzése van folyamatban.

ÖSSZEGLZÉS

A rendelkezésre álló statisztikai adatok alapján igazolható, hogy a természeti katasztrófák nagyobb veszélyeztetést jelentenek a lakosságra, mint az ipari és társadalmi kockázatok. Az ENSZ kimutatásai szerint a természeti veszélyforrások legalább kilencszer gyakrabban következnek be, mint az ipariak, és Európában az elmúlt 10 évben közel hétszer annyi halálos áldozattal jártak, mint a fegyveres konfliktusok. A veszélyeztető hatások elleni fellépés

⁸ UAV: Unmanned Aerial Vehicles, pilóta nélküli légi jármű.

hatékonyaságának biztosítására Magyarország Alaptörvénye hat különböző különleges jogrendi időszakot határoz meg. A különleges jogrend idején az állam működését és a komplex védelmi feladatok maradéktalan teljesülését egy a közigazgatásra épülő védelmi igazgatási rendszer koordinálja. A lakosságvédelmi feladatok három időszakra bonthatóak, úgymint (1) megelőzés, (2) védekezés, (3) helyreállítás. A hatékony védekezés szempontjából napjainkra megkerülhetlenné váltak a pilóta nélküli légi járművek, amelyek katasztrófavédelmi célzatú használata még nem teljesen feltérképezett. Példaképp említhető, hogy az Amerikai Egyesült Államokban az Irma és Harvey hurrikánok következményeinek felszámolása, illetve számos más kísérlet is igazolta, hogy a károk felmérésében, és az eltűnt emberek felkutatásában a „drónok verhetetlenek”⁹. Új felhasználási területik is megjelenik a 3D-s és 4D-s térinformatikai modellalkotásnak, amelynek teljes határait még nem ismerjük.

Fentiek alapján kiemelten fontos és öröndetes, hogy a katasztrófavédelem folyamatosan fejleszti drónparkját és döntéstámogató térinformatikai alkalmazásait, a kor elvárásainak megfelelően.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] The human cost of weather-related disasters 1995-2015, Centre for research on the epidemiology of disasters, United Nations Office for Disaster Risk Reduction; Genova, 2015. Online: http://www.preventionweb.net/files/46796_cop21weatherdisastersreport2015.pdf
- [2] 234/2011. (XI. 10.) Kormányrendelet a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXXVIII. törvény végrehajtására.
- [3] Hornyacsek J.: A lakosság védelmének újszerű értelmezése és alkalmazási lehetőségei a New Orleans-i Katrina hurrikán eseményeinek tapasztalata alapján. Műszaki Katonai Közlöny 2011. december különszám, Budapest, 2011. december, pp. 370-393. ISSN: 1219-4166
- [4] Online: <http://hkk.uni-nke.hu/downloads/kiadvanyok/mkk.uni-nke.hu/pdfanyagok2011/21%20katrina%20cikk%20HJ%20leadott.pdf>
- [5] Muhoray Á.: Katasztrófa megelőzés I. egyetemi jegyzet. NKE Szolgáltató Nonprofit Kft., Budapest, 2016. p10, ISBN 978-615-5527-85-2.
- [6] Kátai-Urbán L., Révai R.: Possible Effects of Disasters Involving Dangerous Substances Harmful to the Environment, Human Life and Health. BOLYAI SZEMLE, XXII/2 pp. Nemzeti Közszerzői Egyetem, Budapest, 2013. pp: 151-158. Online: <http://uni-nke.hu/downloads/bsz/bszemle2013/2/10.pdf>
- [7] Hornyacsek J.: A katasztrófa-kárterület felderítésének elméleti és gyakorlati kérdései. Budapest, 2013. Hadmérnök VIII. Évfolyam 1. szám - 2013. március, pp.79-98. ISSN 1788-1919, Online: http://hadmernok.hu/2013_1_hornyacsekj.pdf
- [8] Magyarország Alaptörvénye, 48-54. cikk, online: http://www.njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=140968
- [9] 290/2011. (XII. 22.) Korm. rendelet, a honvédelemről és a Magyar Honvédségről, valamint a különleges jogrendben bevezethető intézkedésekről szóló 2011. évi CXIII. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról. 1§. n) pont. Online: http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=140215.298457
- [10] Dr. Nagy - Dr. Halász: Katasztrófavédelem. egyetemi jegyzet, ZMNE, Budapest, 2002. pp:13-14
- [11] 1384/2014. (VII. 17.) Korm. határozat, Magyarország nemzeti katasztrófakockázat-értékelési módszertanáról és annak eredményeiről szóló jelentésről online: <http://www.katasztrofavedelem.hu/letoltes/szervezet/20140718-katasztrofakockazat-ertekelesrol-jelentes.pdf>
- [12] Armed Conflict Survey 2017, International Institute for Strategic Studies (IISS), Routledge Taylor & Francis Group, ISBN 9781857439144
- [13] Szerk: David Sanderson and Anshu Sharma: World Disasters Report Resilience: saving lives today, investing for tomorrow, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Genova, 2016, p: 233 ISBN: 978-92-9139-240-7, online: http://www.ifrc.org/Global/Documents/Secretariat/201610/WDR%202016-FINAL_web.pdf

⁹ NBC Nightly News: Hurricanes Show Why Drones Are the Future of Disaster Relief, Matthew Hutson

- [14] Guha-Sapir D, Hoyois Ph., Below. R. Annual Disaster Statistical Review 2016: The Numbers and Trends., CRED, Brussels; 2016. online: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/adsr_2016.pdf
- [15] Clapuyt, F., V. Vanacker, and K. Van Oost. 2015. Reproducibility of UAV-based earth topography reconstructions based on Structure-from-Motion algorithms. *Geomorphology* 260: pp 4–15. Earth and Life Institute, Georges Lemaître Centre for Earth and Climate Research, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Brussel, 2016.

THE CONNECTION BETWEEN NATURAL AND CIVILIZATIONAL SOURCES OF HAZARDS WITH THE PROTECTION OF THE POPULATION, THE ROLE OF UAVS IN THE EFFICIENT RESPONSE

Information is power. In accordance with the globalizing world of the 21st century, the competing media circulate news without interruption. It is impossible to spend a day without seeing coverage about natural disasters, wars or other crises. Numerous attempts have been made to categorize disasters. Classical theory usually classifies them as natural or civilization catastrophes according to their origin. The occurrences of the latter, such as social catastrophes (war, terrorism, migration etc.) or industrial disasters receive more intensive media attention than those of natural hazards. The aim of this article is to demonstrate and provide with statistical details that the effects of natural disasters are more profound in terms of population protection as shown the media.

Keywords: natural disasters, industrial catastrophes, social catastrophes, event management, air vehicles

Nagy Sándor
doktorandusz
Nemzeti Közszerológati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Műszaki Doktori Iskola
nagy.sandor1975@gmail.com
orcid.org/0000-0001-9774-8434

Sandor Nagy
PhD student
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
PhD School of Military Engineering
nagy.sandor1975@gmail.com
orcid.org/0000-0001-9774-8434



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-06-0430_Nagy_Sandor.pdf

Pető Tamás, Seller Rudolf

KORSZERŰ PASSZÍV RADAR TECHNIKÁK

Mára a modern radarok egy jelentős irányvonalát a passzív elven működő nem kooperatív rendszerek képviselik. Ezt első sorban a nagy sávzélességű digitális modulációt alkalmazó megvilágító források elterjedésének és a modern jelfeldolgozó architektúráknak megjelenésének köszönheti. A cikk rövid betekintést nyújt a passzív radarok jelenkori helyzetébe, beleértve a lehetségesen alkalmazható megvilágító forrásokat és azok tulajdonságait. A passzív elven működő radarok létjogosultságát DVB-T forrásjel használatával végrehajtott demonstrációs kísérletekkel igazoljuk.

Kulcsszavak: passzív radar, bisztatikus radar jelfeldolgozás, PBR, PCL, DVB-T

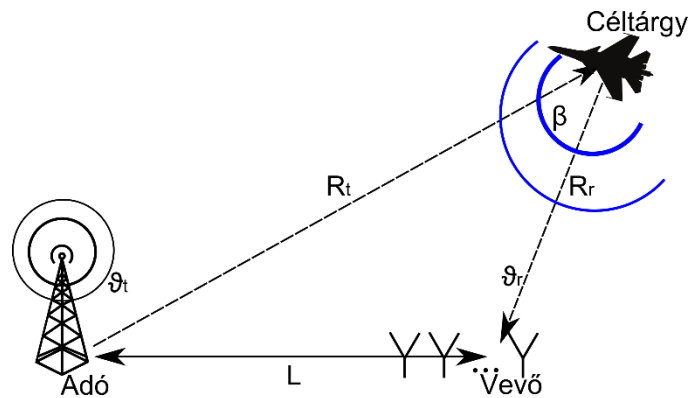
Az elmúlt időszakban a rádiófrekvenciás környezet egyre növekvő kihasználtsága ösztönözte, a modern jelfeldolgozó architektúrák pedig lehetővé tették, hogy a passzív elven működő radar kísérletek egyre jobban az előtérbe kerüljenek. A területen aktívan tevékenykedő kutatócsoportok számos lehetségesen alkalmazható megvilágító forrással hajtottak végre sikeres kísérleteket. Többek között FM, Digital Audio Broadcasting (DAB), Digital Video Broadcasting – Terrestrial (DVB-T), GSM, Long Term Evolution (LTE) és WiFi adásokkal is. Ezek az alkalmazott megvilágító források számos kritériumnak kell, hogy megfeleljenek a nagy hatótávolságú és pontos felderítés eléréséhez. A különböző célra használt forrásokat és az azokkal elérhető felderítési paramétereket a cikk 2. szakaszában részleteiben tárgyaljuk. Egy hatékony rendszer megvalósításához emellett nagy hangsúlyt kell fektetni az alkalmazott jelfeldolgozó algoritmusok kiválasztására és azok megfelelő implementálására is. Míg a hagyományos aktív radarok, előzetesen megtervezett, felderítési szempontból jó paraméterekkel rendelkező adásjellel dolgoznak, addig a passzív rendszerek kénytelenek a rendelkezésre álló megvilágító forrás képességeivel együtt élni. Ez a rendszer számos pontján többlet jelfeldolgozási igényvel jár. A főbb problémák közül néhányat a 3. szakaszban emelünk ki.

A BME Szélessávú Hírközlés és Villamosság-tanszékének Mikrohullámú Távérzékelés Laboratóriumában egy DVB-T alapú többszatornás rendszer került kifejlesztésre. A passzív radar állomás fő céljai közé tartozik a tudományos célú kutatások támogatása és egy demonstrációs platform kifejlesztése. A cikk 4. szakaszában a rendszer főbb egységei és néhány kísérleti eredmény kerül bemutatásra.

PASSZÍV MÉRÉSI ELV

A mérés alapelvét az 1. ábra illusztrálja. Az adótoronyból kisugárzott megvilágító jel a legegyszerűbb esetben két különböző úton éri el a radar vevőegységét. Az egyik a közvetlen jelút, a másik pedig a repülőgépről reflektált jel útja. A két jelkomponens az eltérő távolságokból adódóan különböző időpillanatokban érkezik meg a vevőegységhez, ezen kívül a vevőegységhez képest mozgó célról reflektált jel Doppler eltolást is szenved. A reflektált jel időkésltetése a bisztatikus távolságtól függ (1) szerint, ahol L az adó és vevőegység közti távolság, R_t az adó és a céltárgy közötti távolság, R_r a céltárgy és vevő közötti távolság, c pedig a fénysebességet jelöli.

$$\frac{R_t + R_r - L}{c} = \tau \quad (1)$$



1. ábra Bisztatikus radar geometria

Az észlelt Doppler frekvencia függ a céltárgy sebességétől, irányától, illetve a bisztatikus β szögtől is. A passzív elvű mérés eredményeképpen tehát közvetlenül a bisztatikus távolságot és Doppler frekvenciát határozhatjuk meg. Ez azt jelenti, hogy egy észlelt cél lehetséges pozíciói egy elipszisen helyezkednek el. A cél pontos meghatározásához több bisztatikus mérési párra, vagy a detektált reflexió azimuth és elevációs szögeinek mérésére van szükség.

LEHETSÉGES MEGVILÁGÍTÓ FORRÁSOK

A megfelelő megvilágító forrás kiválasztása minden esetben specifikus, amely függ a detektálható céloktól az aktuális terepviszonyoktól és a kisugárzott jel paramétereitől is. A szakaszban áttekintjük a leggyakrabban használt illuminátorokat, azok főbb paramétereit, illetve röviden említést teszünk néhány jelenleg működő kísérleti rendszerről is. Jelen cikkben az FM, DAB, DVB-T, GSM, LTE, WiFi és GNSS jeleket vizsgáljuk meg.

Megvilágító forrás	Frekvenciasáv [MHz]	Tipikus adóteljesítmény (EIRP)	Sávszélesség [MHz]	Elérhető távolságfelbontás	Hatótávolság
FM rádió	88–108	10 kW–100 kW	~ 0,15	~ 1 km	~ 100 km
DAB	174–240	1 kW–10 kW	1,5	100 m	~ 50 km
DVB-T	480–800	1 kW–100 kW	7,6	20 m	~ 50 km
DVB-S	10 700–12 700	100 W–1 kW	27-30	10 m	-
GSM	900/1800	10 W	0,2	750 m	~ 2 km
UMTS	2100	100 W–1 kW	5	30 m	-
LTE	800/3500	20–69 W	1,4–20	100 m–7,5 m	-
WiFi	2400	0,1 W	11/20	13 m/7,5 m	~ 100 m
GNSS (GLONASS)	1600	300W–500 W	5	30 m	~ 500 m

1. táblázat Alkalmazható megvilágító források és paramétereik

Az alkalmazható források közül a legelterjedtebb az FM rádióadás. Ennek fő okai a sávszélességből adódó egyszerű kezelhetőség, illetve a nagyteljesítményű adótornyok által biztosított jó megvilágítottság. Az elmúlt időszakban számos kísérleti és már üzemszerűen működtetett rendszer is látott napvilágot. A lengyel PaRaDe FM rádió alapú passzív radar demonstrációs rendszerrel nagyméretű Airbus A320-as repülőgépet néhányszor 100 km-es távolságban is sikerült

követni [2]. A jel alkalmazhatóságának egyik nagy hátránya viszont az alacsony sávszélességből adódó gyenge távolságbontás. Emellett a felderítés bizonytalansága változik a sugárzott adásjel tartalmától is. Általánososan elmondható, hogy a gyorsan és véletlenszerűen változó tartalom jó felderítési paramétereket biztosít.

A DAB és DVB-T adások a nagy adóteljesítmény mellett relatív jó távolságbontást is képesek biztosítani. A források hatékony kihasználásának egyik nehézsége az egyfrekvenciás (SFN) működés, vagyis, hogy a földrajzilag egymáshoz közel lévő adótornyok is sugározhatnak ugyanazon a frekvencián. Ez nagymértékben megnehezíti a célok azonosítását, valamint a vevőegység megvédését a nagyteljesítményű direkt jel okozta elvakítástól. Ez ellen a legkönyebben a megfelelő telepítési körülmények biztosításával tudunk védekezni. A budapesti Liszt Ferenc Nemzetközi repülőtéren végzett kísérletekben egy négy csatornás kísérleti rendszerrel 30 km-es távolság felett is sikerült detektálnunk leszálló repülőgépeket [4].

A GSM rendszer kiváltsága a rendkívül jó területi lefedettség, ez azonban csak lokálisan jelent jó megvilágítást, ugyanis a használt adóteljesítmény igen alacsony, emellett pedig az alacsony sávszélesség is gyenge felbontást képes csak biztosítani. A Fraunhofer intézet (FGAN) munkatársai kísérleti méréseket végeztek 32 csatornás passzív radar rendszerrel. A kísérleti méréseken kooperatív kisbusz méretű céltárgyat sikeresen detektálták 2 km-es távolságon [5], [6]. Mivel a megvilágításból adódóan itt többnyire közeli, földfelszíni célokat tudunk detektálni a közel 1 km-es távolságbontás számottevő problémát jelent. Jó alternatíva lehet így a 4. generációs hálózatok által használt LTE jel felhasználása, amivel akár 10 m alatti felbontást is képesek vagyunk biztosítani. Fontos megjegyezni azonban, hogy az LTE esetében a használt sávszélesség nem állandó és a kisugárzott jel spektrális eloszlása nem feltétlenül frekvencia folytonos.

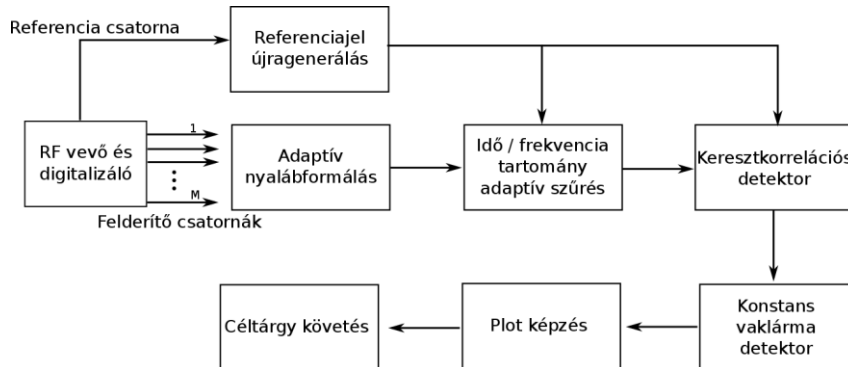
A WiFi jelek felhasználása ezzel szemben állandó és rendkívül jó távolságbontást képes biztosítani. Fabiola Colone és kutató társai repülőtéren és zárt teremben is végeztek kísérleti méréseket WiFi forrásjel használatával [3]. Az eredményeikből kiderül, hogy akár beltéri körülmények között is lehetséges két egymás mellett haladó embert elkülöníteni. A repülőtéren végzett méréseken sikerrel detektáltak kis méretű repülőgépeket, mozgó autókat illetve pilóta nélküli repülőgépeket is. A jel felhasználásához azonban szofisztikált clutter kioltó algoritmusokra és referenciajel előfeldolgozásra van szükség. A WiFi jel kihasználásnak hátránya a kis adóteljesítmény így csak kis méretű területen használható eredményesen. Ajánlott felhasználása ebből adódóan kisebb területek védelmére korlátozódik. Behatólag, kis méretű pilóta nélküli repülőgépek észlelésére vagy akár járműforgalom monitorozására.

A rádiófrekvenciásan megvilágított terület nagysága és minősége az adóteljesítmény nagysága mellett jelentősen függ az adótorny antenna iránykarakteristikájától is. 2014-ben Dudás Levente és kollégái magas légköri ballonnal végzett méréseket hajtottak végre [1], amelyből megismertük a DVB-T adótornyok nagy magasságban kisugárzott teljesítményét. A kísérletekből kiderült, hogy akár néhányszor 10 km magasságban is jelentős teljesítményű EM sugárzás mérhető az UHF sávban. Ez egyrészt a közeli DVB-T adótornyoktól, másrészt a rádióhorizont kinyílásával a földrajzilag jóval távolabb telepített adóállomásokról is származik. A mérési eredményekből adódóan kijelenthetjük, hogy a nagy teljesítményű televíziózáshoz használt műsorszóró adók jó megvilágítást biztosítanak a magasabb légrétegekben ezért jól alkalmazha-

tóak repülőgépek detektálására. Az alacsony teljesítményszinttel működő GSM és WiFi rendszerek ezzel szemben a földfelszínen kis távolságra képesek jó megvilágítást biztosítani.

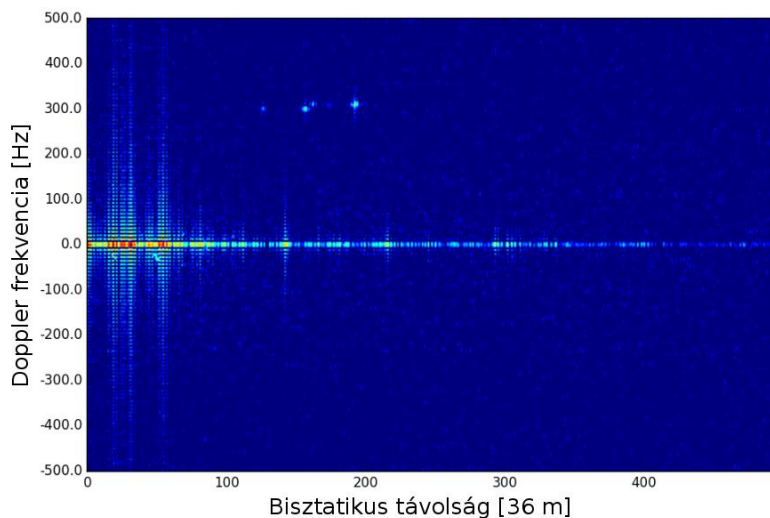
JELFELDOLGOZÁS

A passzív elvű mérésből adódóan számos probléma merül fel, melyek megoldása a digitális jelfeldolgozásra hárul. Ilyen többek között az clutter kioltás a megfelelő detektor alkalmazása a céltárgy iránymérés illetve a célkövetés is.



2.ábra Passzív radar jelfeldolgozás

Az általánosan alkalmazott feldolgozási sémát a 2. ábra illusztrálja. A feldolgozás központi eleme a mozgó objektumot észlelésért felelős keresztkorrelációs detektor. A keresztkorrelációt az adótoronytól kisugárzott referenciajel és a megfigyelt területről begyűjtött felderítő csatorna vett jele között végezzük el. A művelet elvégzésének eredményeképpen megkapjuk a távolság és Dopplerfrekvencia tartományban értelmezett felbontását a vett jelnek. Egy ilyen távolság Doppler mátrixot illusztrál a 3. ábra.

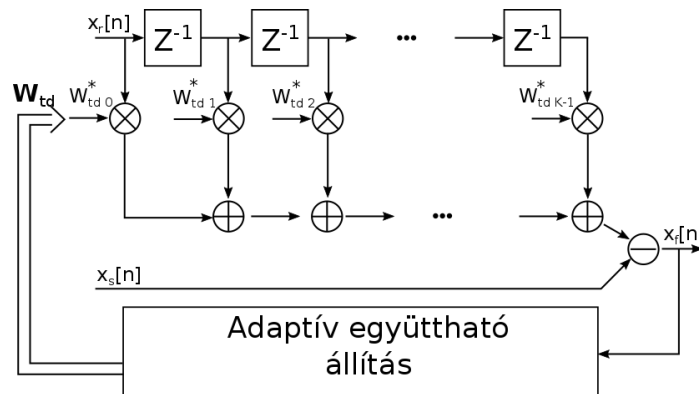


3.ábra Távolság-Doppler mátrix a keresztkorrelációs detektor kimenetén

A keresztkorrelációs detektor alkalmazásával jól láthatóan elkülöníthetővé válnak a mozgó célok az álló céloktól, ami nagymértékben megkönnyíti a detektálást. Emellett a detektor másik fontos feladata megfelelő nyereség biztosítása. A céltárgyról reflektált jel legtöbbször olyan alacsony jelszinttel érkezik meg a vevőegység antennájához, hogy az jóval a vevőrendszer belső

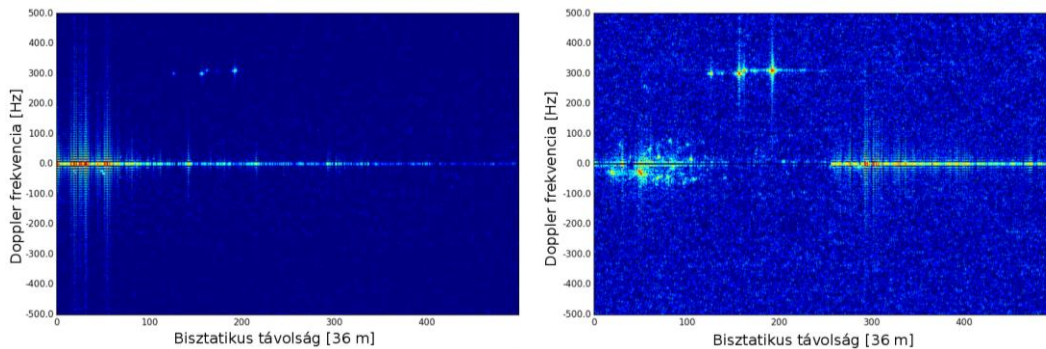
zaja alatt található. Ahhoz, hogy ezt az alacsony szintű jelet kiemeljük és észlelni tudjuk, koherens integrálásra van szükségünk, amit a keresztkorrelációs detektor biztosít számunkra.

A passzív radar rendszerek nagy hatótávolságú működéséhez egy jelentős problémát kell megoldani, ez pedig a direkt jel okozta interferencia elnyomása. A probléma forrása a felderítőcsatornaként használt vevőfokozatba közvetlen, illetve több utas terjedésen keresztül bejutó referenciajel. Ezeknek a jelkomponenseknek az energiája több nagyságrenddel is nagyobb lehet az észlelni kívánt céltárgy reflexiójától, ami annak elfedését okozza. A nagy teljesítménykülönbségből adódó maszkoló hatás ellen a rendszer több különböző pontján is védekeznek. Az egyik leghatékonyabb jelfeldolgozási eljárás erre a problémára a Wiener szűrő alkalmazása. Az utóbbi időben számos időtartományban működő szűrő algoritmust javasoltak. Ezen algoritmus működésének közös alapja, hogy a vételi oldalon előálló referenciajelet használják fel a felderítőcsatornába beszűrődő statikus reflexiók kiszűrésére. Az algoritmus blokkvázlatát a 4. ábra mutatja be.



4.ábra Időtartománybeli interferencia szűrés blokkvázlata

A szűrőblokknak két bemenete van, a referencia jel, illetve a felderítő jel. A referenciajeltől a FIR szűrőn áthaladva előáll a felderítőcsatornán mérhető közvetlen úton érkező jelkomponens és annak időben eltoltt másolatai. A szűrő kimenetén ezt a segéd jelet kivonjuk a felderítőcsatorna jeléből, amellyel a megfelelő együtthatók beállítása mellett kiolthatjuk a nagyteljesítményű statikus reflexiókat. A szűrő működését valós mérési eredményeken a 5. ábra mutatja be. A baloldali ábrán a keresztkorrelációs detektor kimenetét látjuk a szűrő alkalmazása nélkül, a jobb oldali ábrán pedig a szűrő alkalmazásával. A statikus, zéró Doppler frekvenciával rendelkező jelkomponensek eltűnése tisztán látható, emellett észrevehetjük, hogy a hasznos céltárgy-reflexió korrelációs csúcsa jóval nagyobb amplitúdójú. Szintén érdemes megfigyelni, hogy egyéb, alacsony Doppler frekvenciával rendelkező célok is észlelhetővé váltak.



5.ábra Zéró Doppler interferenciaszűrés hatása a távolság-Doppler frekvencia mátrixban

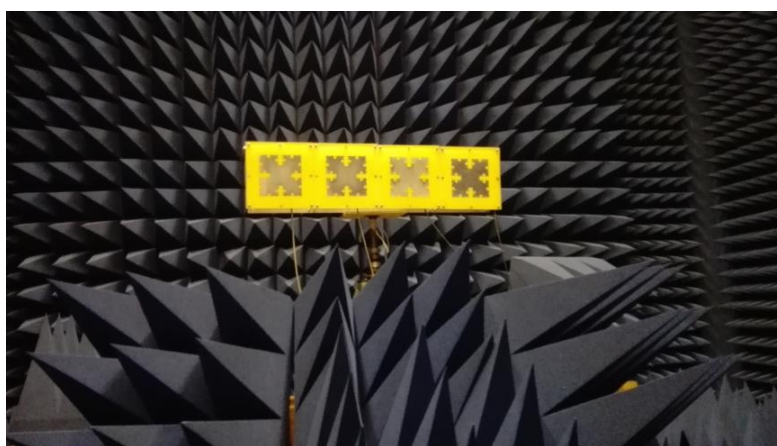
A direkt jel elnyomásában ezen kívül komoly szerepet vállal a felderítőcsatornán használt antennarendszer. A digitális nyalábformálási technikák alkalmazásával lehetőség nyílik a vételi iránykarakterisztika megfelelő módon történő kialakítására. A direkt jel irányába null helyeket szintetizálhatunk, míg a detektálni kívánt cél felé főnyalábot alakíthatunk ki. Ezzel a módszerrel tovább csökkenthetjük a reflektált jel és direkt jel közötti jelentős jelszint különbséget. Emellett a detektált cél iránymérésére is lehetőség nyílik, aminek fontos szerepe van a cél pontos lokalizálásában.

Azok a megvilágító források, amelyek digitális modulációt alkalmaznak, lehetőséget nyújtanak arra, hogy a vételi oldalon tökéletesen visszaállítsuk eredeti jelalakjukat. Erre alapvetően azért van szükség, mert a többutas terjedéssel és zajjal terhelt referenciajel a keresztkorrelációs detektor és az időtartományban működő szűrő hatásfokának degradációját okozza. Ezt a módszert az FM műsorszórási jel kivételével az összes itt tárgyalt illuminátor esetében széles körben alkalmazzák.

DVB-T DEMONSTRÁCIÓS RENDSZER

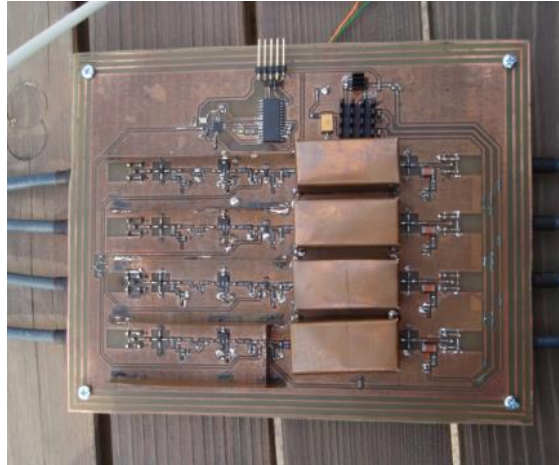
A Mikrohullámú Távérzékelés Laboratóriumban 2014-től kezdődően egy 4 csatornás DVB-T alapú passzív radar demonstrációs rendszer került kifejlesztésre beleértve annak hardveres és szoftveres részeit is (antennarendszer, rádiófrekvenciás vevőegység, jelfeldolgozás során használt algoritmusok). A fejlesztett vevőrendszer nagy integráltságú célalkatrészek alkalmazásával készült így a jelenleg publikált hasonló kísérleti rendszerekhez képest kisebb méretű és fogyasztású eszközről beszélünk.

A vevőrendszer hardveres oldalon három, nagyobb részből tevődik össze. A felderítőcsatornán alkalmazott lineáris antennarendszerről, a rádiófrekvenciás front-end egységről és a digitális adatgyűjtő kártyáról. A négyelemű antennarendszer reflexiómentesített szobában készült képe a 6. ábrán látható. Az antennarendszer elemi sugárzója egy Koch fraktál patch antenna. Ennek a struktúrának az alkalmazása biztosít lehetőséget számunkra, hogy az egyes antennaelemek kellően kis méretűek legyenek így elkerülhető az irányszög tartományban jelentkező ál célok megjelenése.



6. ábra DVB-T alapú passzív radar demonstrátor antennarendszere

Az antennarendszerről érkező nagyfrekvenciás jeleket az RF front-end fogadja, majd kondicionálja, szűri és középfrekvenciára keveri. Az egységről készült kép a 7. ábrán látható.



7.ábra UHF sávú négy csatornás RF front-end

Az analóg középfrekvenciás kimenetek ezután egy digitális adatgyűjtő kártyára érkeznek, ahol első lépésben megtörténik a jelek koherens digitalizálása, majd előfeldolgozása egy FPGA áramkörön belül. Az alkalmazott FPGA áramkör egy olyan rendszerchip része, amely egy ARM CPU-val egy tokon belül került kialakításra. A kártya így közvetlenül képes nagyteljesítményű jelfeldolgozási feladatok elvégzésére. A feldolgozott minták az ARM processzoron keresztül Gigabit Etherneten tölthetők le a kártyáról.



8.ábra Adatgyűjtő és jelfeldolgozó kártya

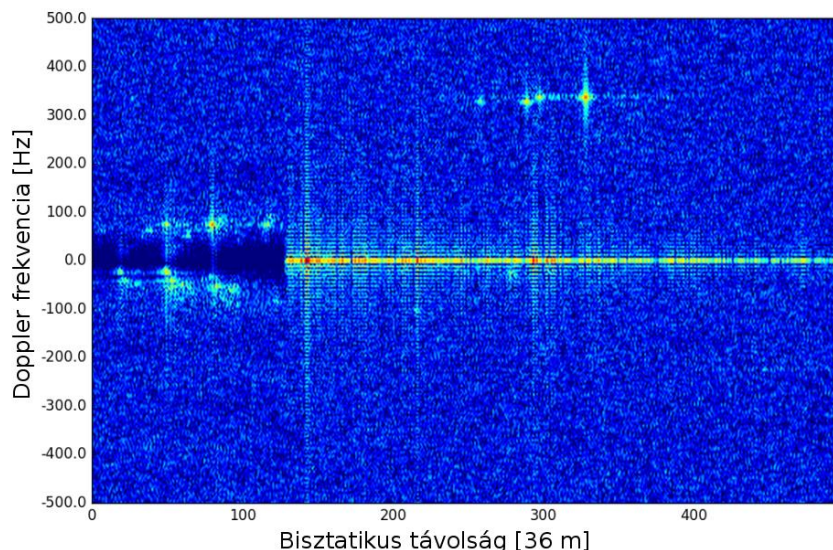


9.ábra Passzív radar vevőegység a demonstrációs mérésen

A következőekben a demonstrációs rendszerrel végzett kísérleti eredmény kerülnek bemutatásra. A mérés helyszínéül a budapesti Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtérrel választottuk a közel elhaladó céltárgyak által biztosított jól kontrollálható mérési körülmények eléréséhez.

A passzív radar vevőrendszert a futópálya végén állítottuk fel, ahol leszálló repülőgépeket figyeltünk meg. A mérés elrendezéséről készített kép a 9. ábrán látható.

A céltárgyak megvilágítását a Budapest körzetében működő DVB-T adótornyok szolgáltatták. A jelenleg működő három adótorny egyfrekvenciás (SFN) működési módot követ, amely szerint az adótornyok ugyanazon a frekvencián, ugyanazt a tartalmat sugározzák azonban az adások között precízen beállított fix késleltetés van. Az ebből a működésből adódó hatásokat megfigyelhetjük a mérésen kiszámított távolság-Doppler mátrixon a 10. ábrán, ahol céltárgyhoz tartozó diszkrét reflexió csúcs helyett több egymáshoz közeli reflektált jelkomponenst is azonosítani tudunk. Szintén érdekes megfigyelni, hogy a különböző adótornyok megvilágításából érkező reflexiók eltérő bisztatikus geometriából is származnak, ezért a reflexiók Doppler frekvenciában is eltérnek. A leszálló nagyméretű utas szállító repülőgép mellett több, lassan mozgó járművet, autót is azonosíthatunk.



10.ábra Detektált leszálló repülőgép

A méréseken a legtávolabbi észlelt céltárgy reflexió meghaladja a 30 km -es távolságot.

PERSPEKTÍVÁK

A jelenleg működő kísérleti rendszerek jól mutatják a technológiában rejlő lehetőségeket. Fontos azonban kiemelni, hogy a passzív radar rendszerek működésükből adódóan nem, vagy csak részben képesek átvenni a hagyományos aktív radarok feladatát. A megbízható működés biztosításához számos kísérleti mérésre és a használt eljárások finomítására van szükség. Emellett a hangsúlyt kell fektetnünk a jelenleg fejlesztés alatt álló új generációs távközlési és műszórák jelek kivizsgálására is (DVB-T2, 5G, V2X), hiszen a közeljövőben ezen források biztosítják majd a passzív radarok által is használható rádiófrekvenciás megvilágítást.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dudás Levente, Szűcs László, Gschwindt András: A SMOG-1 kisműhold spektrummonitorozó rendszere, Repüléstudományi Közlemények XXVII: (1) pp. 85-105. (2015)
- [2] Mateusz Malanowski, Krzysztof Kulpa, Janusz Kulpa, Piotr Samczynski, Jacek Misiurewicz: Analysis of detection range of FM-based passive radar, IET Radar, Sonar & Navigation, vol 8, no. 2, pp 153-159, 2014 február
- [3] D. Pastina, F. Colone, T. Martelli, P. Falcone: Parasitic exploitation of WiFi signals for indoor radar surveillance, IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol 64., no. 4, pp. 1401-1415, 2015 április
- [4] Pető Tamás, Seller Rudolf: Quad channel DVB-T based passive radar, 17th International Radar Symposium (IRS), Prága, Csehország 2016
- [5] Reda Zemhari, Ulrich Nickel, Wulf-Dieter Wirth: GSM Passive Radar for Medium Range Surveillance, 6th European Radar Conference, Róma, Olaszország 2009
- [6] D. Petri, F. Berizzi, M. Martorella, E. Dalle Mese, A. Capria: A Software Defined UMTS Passive Radar Demonstrator, 11th International Radar Symposium, Vilnius, Litvánia, 2011
- [7] H. Ma, M. Antoniou, D. Pastina, F. Santi, F. Pieralice, M. Bucciarelli, M. Cherniakov: Maritime Moving Target Indication Using Passive GNSS-based Bistatic Radar, IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems, vol pp, no99

MODERN PASSIVE RADAR TECHNIQUES

Nowdays the non cooperative passive radar systems represent a significant trend in the modern radars. This can be attributed to the widespread of the illuminator signals which have wide bandwidth and apply digital modulation techniques. The emergence of the modern signal processing architectures had also a key role in the development of these systems. This paper gives a short introduction to the current development situation of the passive radars, including the analysis of the illuminator of opportunity. We demonstrate the applicability of passive radars with presenting experimental results carried out with a DVB-T based system.

Keywords: passive radar, bistatic radar, signal processing, PBR, PCL, DVB-T

Pető Tamás (MSc)
doktorandusz hallgató
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki kar
Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék

Mikrohullámú Távérzékelés Laboratórium
peto@hvt.bme.hu
orcid.org/0000-0002-4848-9031

Dr. Seller Rudolf
Egyetemi adjunktus
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki kar
Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék

Mikrohullámú Távérzékelés Laboratórium
seller@hvt.bme.hu
orcid.org/0000-0003-0573-2684

Pető Tamás (MSc)
PhD student
Budapest University of Technology and Economics
Faculty of Electrical Engineering
Department of Broadband Infocommunications and
Electromagnetic Theory

Microwave Remote Sensing Laboratory
peto@hvt.bme.hu
orcid.org/0000-0002-4848-9031

Dr. Seller Rudolf
Senior lecturer
Budapest University of Technology and Economics
Faculty of Electrical Engineering
Department of Broadband Infocommunications and
Electromagnetic Theory

Microwave Remote Sensing Laboratory
seller@hvt.bme.hu
orcid.org/0000-0003-0573-2684



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-07-0420_Peto_Tamas-Seller_Rudolf.pdf

Stein Vera, Pokorádi László

FŐÁRAMKÖRŰ EGYENÁRAMÚ MOTOR MÉRÉSI BIZONYTALANSÁGÁNAK ELEMZÉSE

A mérnöki mérések és számítások során parametrikus bizonytalanságot tapasztalunk, mely megfelelő matematikai módszerekkel modellezhető és leírható. A villamos gépek méréseinek fő célja azok jelleggörbéinek megfelelő pontosságú meghatározása. A tanulmány a parametrikus modellbizonytalanságot egy fő forrását mutatja be és szemlélteti azt a főáramkörű egyenáramú motor jelleggörbe meghatározásának példáján keresztül, hallgatói mérési csoportok eredményeinek segítségével.

Kulcsszavak: villamos gépek, jelleggörbe, mérés, modellbizonytalanság, parametrikus bizonytalanság

BEVEZETÉS

Egy matematikai modell felállításakor, illetve a kapott eredmények elemzésekor mindig számolnunk kell valamilyen típusú, valamint mértékű bizonytalansággal. Ennek oka részben az, hogy ismereteink sosem teljesek a modellezett rendszerrel kapcsolatban, illetve a rendelkezésre álló adataink is pontatlansággal bírnak. A mérnöki gyakorlatban fellépő úgynevezett modellbizonytalanság vizsgálata során, annak forrása alapján, megkülönböztetünk ismereti (angol néven: „epistemic”), és parametrikus („parameter uncertainty”) bizonytalanságot.

Az ismereti bizonytalanság szubjektív bizonytalansággként is szemlélhető. Ezek az okok magukba foglalhatják például a megfelelő szakmai információk, fizikai ismeretek hiányát, vagy téves ismeretét, melyek megakadályozhatják a helyes modell felállítását. Ezzel szemben a parametrikus bizonytalanság elsődlegesen az objektivitáshoz kapcsolható, és megfelelő módszerekkel modellezhető, feldolgozható.

Jelen tanulmányunk célja az alapvető parametrikus bizonytalanság forrásainak szemléltetése egy főáramkörű egyenáramú motor jelleggörbe meghatározásának példáján keresztül, hallgatói mérési csoportok eredményeinek segítségével.

A tanulmány az alábbi részekből áll: A 2. fejezetben mutatjuk be az elemzésünk tárgyát képező mérést. A 3. fejezet a parametrikus modell bizonytalanságot mutatja be és az elemzési módszereket írja le röviden. A 4. fejezet egy villamos motor jelleggörbe meghatározásának példáján keresztül szemlélteti az elemző eljárásokat. Végül, az 5. fejezet összegzi a tanulmány elkészítésekor szerzett tapasztalatokat.

A MÉRÉS LEÍRÁSA

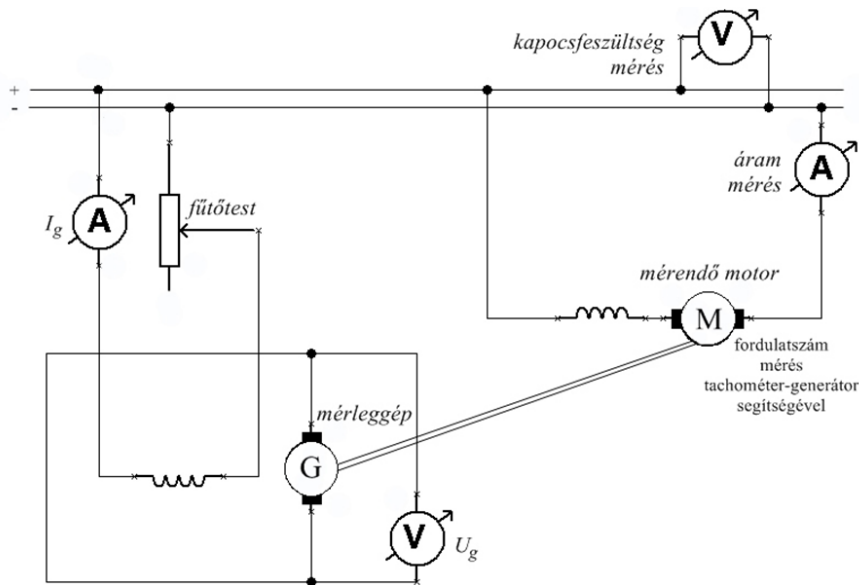
A főáramkörű egyenáramú motor mérésének célja a motor jelleggörbéjének meghatározásához szükséges fordulatszám-áramerősség, valamint nyomaték-áramerősség függvények meghatározása és diagramban való ábrázolása.

A mért motor (névleges adatai: 220 V; 3 kW; 1500 1/min) által leadott nyomatékot mérleggéppel (névleges adatai: 220 V; 3 kW; 1500 1/min) segítségével mérjük, melyet a mérendő géppel merev tengelykapcsoló köt össze.

A soros motor működési sajátosságait szem előtt tartva a motort csak terheléssel szabad indítani, így a mérleggépet terhelésként is hasznosítjuk. Ennek értelmében indítás előtt a mérleggépre változtatható ellenállású fogyasztót (fűtőtestet – névleges adatai: 250V; 250 W; 148 Ω) kapcsolunk.

A mérleggép 0,36 m hosszú mérlegkarjaira helyezett – ismert nagyságú (1,29; 4,57; 5,86; 6,7; 7,08 kg tömegű) – súlyokkal a csapágyazott állórész elfordulása megakadályozható, így a kar egyensúlyi állapotában a soros motor nyomatéka a súly, és kar hosszának szorzataként adódik.

A fordulatszámot tachométer-generátor segítségével mérhetjük. A mérés az egyenáramú hálózatról táplált motor áram-, kapocsfeszültség-, fordulatszám értékeinek felvételéből áll a mérleggép különböző gerjesztő áram értékeinél. A mérés kapcsolási vázlatát az 1. ábra mutatja.



1. ábra A vizsgált mérés kapcsolási vázlat (saját ábra)

A mérleggép különböző gerjesztési értékeit a karjára helyezett súlyok változtatásával állítjuk be úgy, hogy a fűtőtestek ellenállásának szabályozásával a gerjesztő áramot a mérlegkar egyensúlyi állapotáig módosítjuk.

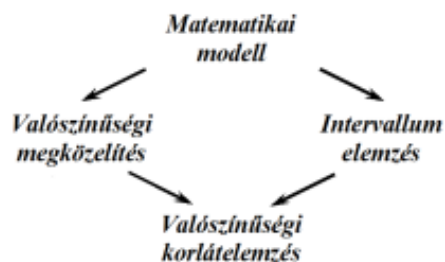
A MODELLBIZONYTALANSÁGOK

Napjaink mérnöki gyakorlatában a matematikai modellezés fő feladata valós fizikai jelenségek folyamatok vagy rendszerek modelljeinek felállítása és a modellvizsgálati eredmények szakmai szempontú elemzése. A numerikus modelleket és paramétereket a modellezett rendszer természete és a megkívánt pontosságú vizsgálati, modellezési vagy szimulációs eredmény függvényében kell kiválasztanunk. A gerjesztések, valamint a belső jellemzők helyes feldolgozása biztosítja, hogy a rendszer valós tulajdonságai jól tükröződjenek az eredményekben. Ezért kritikus kérdés a megfelelő modell és a rendelkezésre álló adatok helyes feldolgozása. A mérnöki gyakorlatban a rendelkezésre álló információ halmaz gyakran nem kellően megbízható vagy pontos – inkább pontatlan, diffúz, fluktuáló, nem teljes, töredékes, megbízhatatlan, félreérthető.

Ezeket az információkat főleg tervek, tervrajzok, mérések, megfigyelések, tapasztalatok, szakértői ismeretek, és előírások alapján nyerhetjük. Ráadásul, ezeket az adatokat a gyártás, üzemeltetés során bekövetkező emberi tévedések, hibák, illetve a környezet paramétereinek sztochasztikus változásai is befolyásolják. A fenti jelenségeket egy általános kifejezéssel tudjuk összegezni, ez a bizonytalanság [3].

A bizonytalanság elválaszthatatlan egy modelltől, a gerjesztésektől és a modellparaméterektől. A bizonytalanság elemzés információt ad a kapott válaszok hibahatáraitól, a modell eredményeinek elfogadási szintjéről. A rendelkezésre álló információk bizonytalansága megakadályozhatja a helyes modell, valamint pontos adatok, felesleges információk nélküli meghatározását. „Az a jó modell, amely a lehető legegyszerűbb, de a célnak megfelelő pontossággal közelíti a valóságot.” [3]. Másképpen megfogalmazva: Az, és csak az a modell tekinthető jónak, amely a vizsgálat szempontjából fontos paramétereket, összefüggéseket és a peremfeltételeket megfelelő pontossággal figyelembe veszi, de mindazon másodlagos jellemzőket elhanyagolja, amelyeket a kitűzött vizsgálat szempontjából nem tekintünk meghatározónak.

A parametrikus bizonytalanság tudományos szintű elemzése alapvetően két eltérő módon oldható meg [2]. Ezeket szemlélteti az 2. ábra „második sora”.



2. ábra Bizonytalanságelemzési módszerek [2]

Az első mód a gerjesztések bizonytalansága következtében fellépő lehetséges rendszerválások meghatározása intervallum értékekkel. Ezen eljárási mód annak figyelembevétele, hogy néhány, vagy az összes független paraméter nem egy adott értékkel rendelkezik, hanem bizonyos intervallumon belül található. Általános megfogalmazásuk esetén az intervallumokhoz nem kapcsolunk valószínűségi eloszlásokat, csak a lényegi eredmények lehetséges jövőbeli szélső értékeit határozzuk meg.

A valószínűségi módszer a környezet gerjesztéseinek minden lehetséges eleméhez valamilyen valószínűségi eloszlást rendel. A lehetséges rendszerválásokhoz történő valószínűségek rendelése egy általánosan alkalmazott gyakorlat. Ilyenkor az sem ritka, hogy úgynevezett szubjektív valószínűségekkel találkozunk, ami szakértők (vagy bizonyos esetekben laikusok) által becsült valószínűségi értéket jelent.

Általában, ha az adatok valószínűségi eloszlásai ismertek, elméletileg mindegyik alternatíva következményeinek eloszlását megtudhatjuk. Ez egy egyszerű kritérium esetén a vizsgált rendszer vagy folyamat kvalitatív tulajdonságának valószínűségi eloszlását jelenti.

Például egy determinisztikus matematikai modell esetén, amikor a modell bemenő és belső jellemzői valamilyen bizonytalansággal bírnak a kalkuláció során használt valós értékű mennyiségekkel kapcsolatban, a bizonytalanságelemzés intervallumelemzéshez vezethet.

A valószínűségi módszerek egyik legelterjedtebb formája a Monte-Carlo-szimuláció, mellyel részletesebben Pokorádi és Molnár [4] publikációjukban foglalkoznak.

ESETTANULMÁNY

Jelen tanulmányunkban a 2. fejezetben leírt mérésből csak a nyomaték-áramerősség függvény meghatározásával foglalkozunk a mérésekből származó modellbizonytalanság szemléltetése érdekében.

Mérési eredmények

A méréseket 8 csoport végezte el, csoportonként 5–5 mérési ponttal. A nyomaték meghatározásának alapját képező – a mérlegkarra helyezett – súlyok tömegét, és a hozzájuk tartozó – leolvasott – gerjesztő áramerősségek értékeit az alábbi táblázat tartalmazza, mérőcsoportonkénti bontásban.

sz.	$I[A]$	$m[kg]$	sz.	$I[A]$	$m[kg]$	sz.	$I[A]$	$m[kg]$	sz.	$I[A]$	$m[kg]$
1	19,76	7,08	3	19,60	7,08	5	20,00	7,08	7	19,40	7,08
	19,00	6,7		19,00	6,7		19,00	6,7		18,20	6,7
	17,70	5,86		17,40	5,86		16,20	5,86		17,40	5,86
	14,90	4,57		14,80	4,57		14,80	4,57		14,80	4,57
	9,20	2,13		7,00	1,29		7,20	1,29		7,20	1,29
2	19,60	7,08	4	20,00	7,08	6	19,60	7,04	8	20,00	7,14
	19,00	6,7		19,00	6,7		18,20	6,23		19,00	6,76
	17,20	5,86		17,60	5,86		17,40	5,85		17,60	5,92
	14,60	4,57		14,80	4,57		14,60	4,57		14,80	4,63
	7,00	1,29		7,20	1,29		7,20	1,29		7,20	1,29

1. táblázat Mérési adatok

Az így nyert negyven mérési pontot, valamint a belőlük meghatározott másodfokú regressziós görbét a 3. ábra mutatja. A nyomatékot az

$$M = mgk \quad (1)$$

összefüggés segítségével határozták meg a mérések során, ahol:

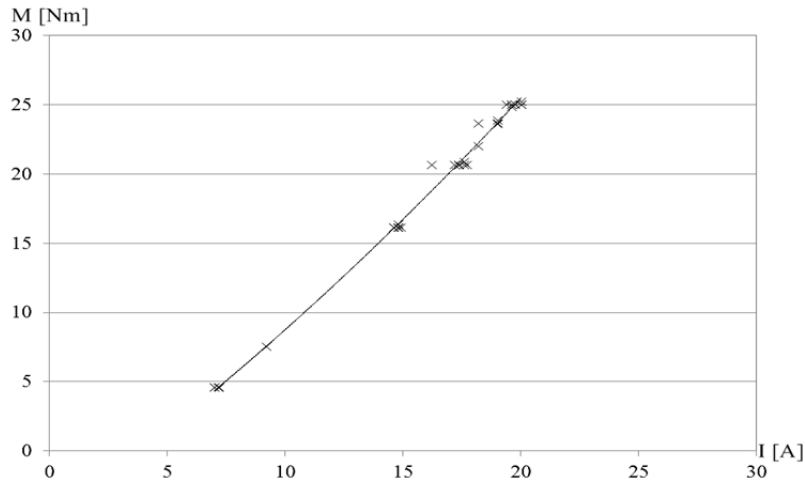
- m – a terhelő súly tömege;
- g – a nehézségi gyorsulás ($9,81 \frac{m}{s^2}$)
- k – a mérlegkar hossza ($0,36 m$).

A mérési eredményeket – a [1] és [5] tankönyvekben leírtak alapján – az

$$M = AI^2 + BI + C \quad (2)$$

másodfokú regressziós görbékkel szemléltetjük, ahol:

- M – nyomaték [Nm];
- I – áramerősség [A].



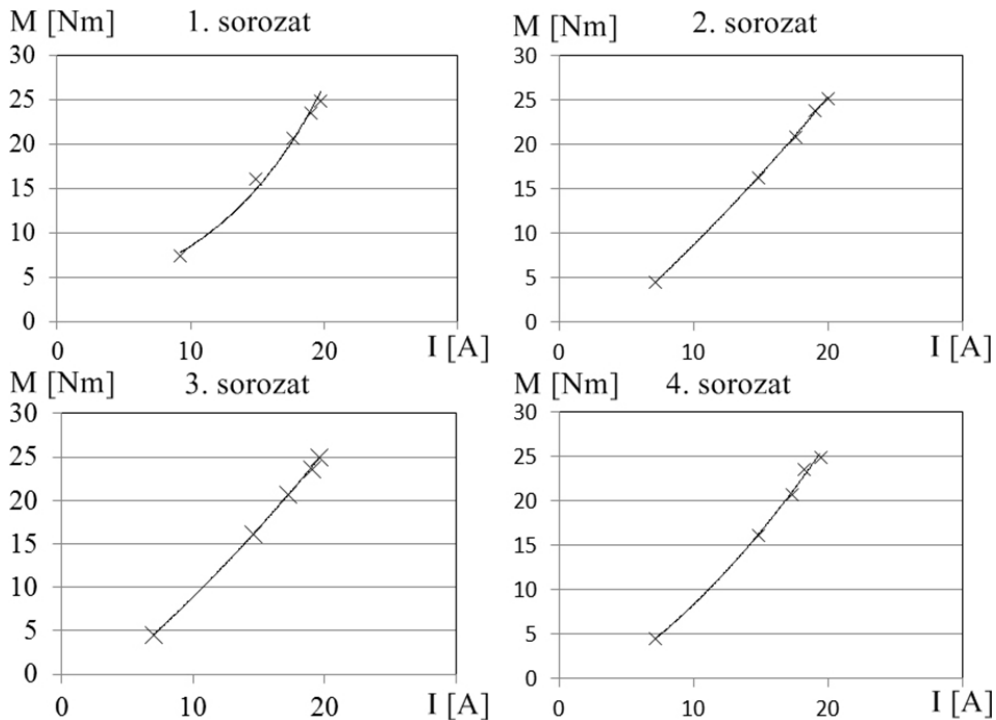
3. ábra Összesített mérési eredmények

Eredmények kiértékelése

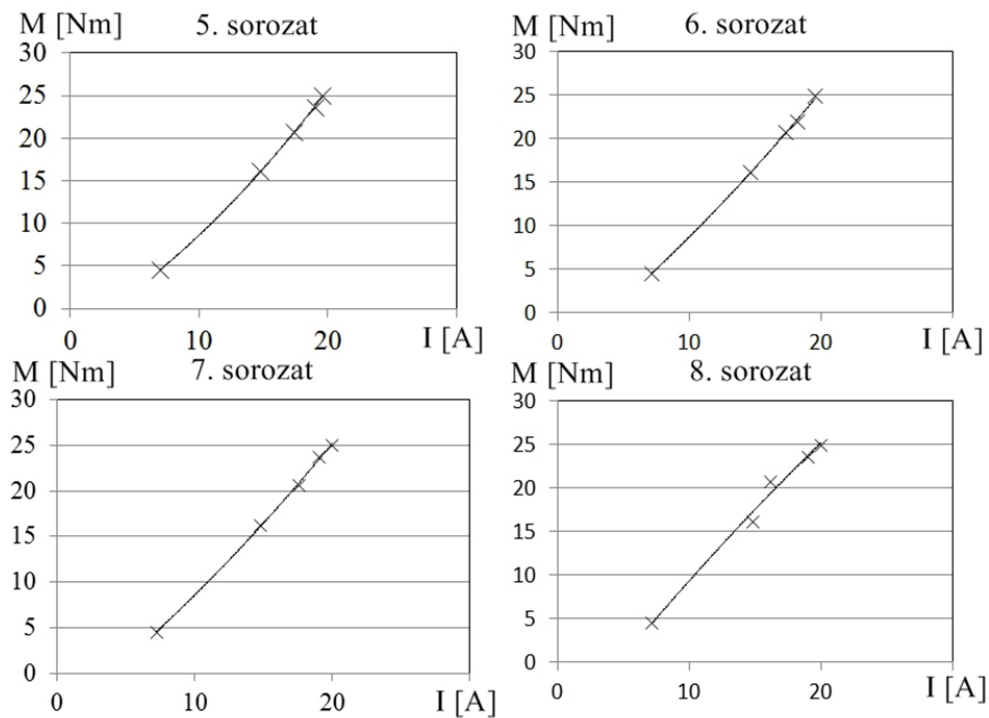
A mérési bizonytalanságok megértése érdekében most válasszuk szét és elemezzük, ábrázoljuk külön a nyolc csoport által elvégzett mérési sorozatok eredményeit, amiket a 4. és 5. ábra szemléltet. Az együtthatók értékei a 2. táblázatban találhatóak.

A regressziós parabolák I_1 és I_2 gyökei, valamint a talppont I_t helye szintén fontos ismérve a mérési sorozatok összehasonlításának.

Grafikusan érzékeltethető a legszemléletesebben, hogy az egyes csoportok eredményei milyen mértékű eltérést mutatnak. A regressziós parabolák mérési pontokra fektetett szakaszai viszont nem mutatják a teljes görbéket, így azok különbözőségét gyökeik és talppontjaik helyzete még szemléletesebben mutatja be.



4. ábra Csoport mérések eredményei. 1.

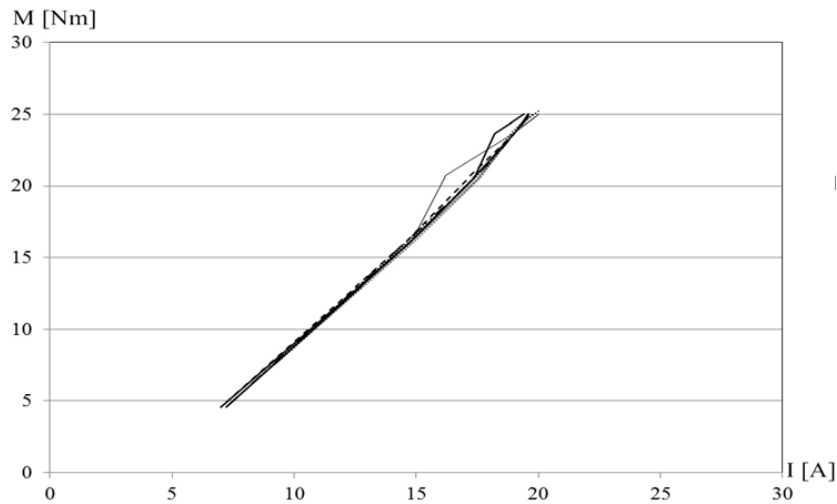


5. ábra Csoport mérések eredményei. 2.

Ezeket tüntettük fel a 2. táblázat utolsó három oszlopában.

sorozat	A [Nm/A ²]	B [Nm/A]	C [Nm]	I_1 [A]	I_2 [A]	I_t [A]
1	0,0349	0,6440	-1,3344	0,0023	-0,025	-0,0112
2	0,0175	1,1498	-4,3527	0,0011	-0,021	-0,0101
3	0,0282	0,8654	-2,8812	0,0024	-0,027	-0,0122
4	0,0169	1,1500	-4,6013	0,0011	-0,021	-0,0097
5	0,0109	1,9155	-8,7368	0,0006	0,020	0,0104
6	0,0158	1,1990	-4,8798	0,0010	-0,020	-0,0095
7	0,0377	0,7014	-2,4618	0,0043	-0,031	-0,0132
8	0,0148	1,2233	-5,0192	0,0009	-0,019	-0,0091
átlag	0,0221	1,1061	-4,2834	0,0017	-0,018	-0,0081
szórás	0,0101	0,3994	2,2302	0,0012	0,016	0,0076
rel.szórás	78%	36%	52%	74%	89%	94%
minimum	0,0109	0,644	-8,7368	0,0006	-0,031	-0,0132
maximum	0,0377	1,9155	-1,3344	0,0043	0,020	0,0104
összesített	0,0158	1,2016	-4,8443	0,0010	-0,020	-0,0095

2. Táblázat Regressziós görbék adatai

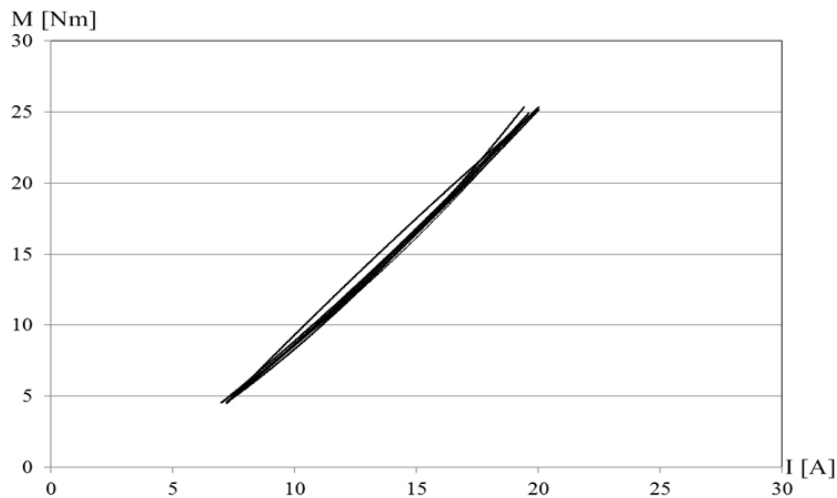


6. ábra Csoport mérések eredményei 3.

Következtetések

Az áramerősségeket és tömegeket tartalmazó 1. Táblázatból már első ránézésre is kitűnik, hogy a 6. és a 8. mérőcsoportok a többiektől eltérő mérési pontokkal dolgoztak. Ez az eltérés önmagában nem jellemezheti a két csoport mérési sorozatainak pontosságát, hiszen a mérendő görbét bármely öt mért pontjával lehetne közelíteni, meghatározni.

A továbbiakban először nem választjuk szét az eredményeket mérési sorozatokra.



7. ábra Csoport mérések eredményeinek regressziós görbéi

Elemzésünknek ennél a pontjánál a mérések pontosságának meghatározásához a többségtől eltérő mérési pontokat kivesszük az adatok közül, mivel azonos mérési körülmények között, azonos súlyok alkalmazásával a mért áramerősség értékeknek egyezniük kellene.

Az összesítő 3. táblázat alapján vizsgálhatók az azonos gerjesztési értékekre vetített mérési pontosságok. Látható, hogy a leolvasott áramerősség értékek átlagértékhez viszonyított relatív szórása 1–3% között mozog, mely a mérések pontosságát rontja.

Amennyiben az összes mérési pontot továbbra is összesítve tekintjük, és a pontokra fektethető regressziós görbe együtthatóiból következtetünk, megállapítható, hogy az elvben origóból induló parabola talppontja a vízszintes tengelymentén $-0,0095$ A-rel, illetve a függőleges tengely

mentén $-4,84 Nm$ -rel tér el az elméletitől. Látszik, hogy az egy számjegyű relatív hibák is mérhetőek, érdemi abszolút hibát eredményeznek az elméletileg elvárttól.

	$I[A]$	$m[kg]$	$I[A]$	$m[kg]$	$I[A]$	$m[kg]$	$I[A]$	$m[kg]$	$I[A]$	$m[kg]$
	7	1,29	14,9	4,57		5,86		6,7		7,08
	7		14,6		17,7		19		19,76	
	7,2		14,8		17,2		19		19,60	
	7,2		14,8		17,4		19		19,60	
	7,2		14,8		17,6		19		20,00	
	7,2		14,6		16,2		19		20,00	
	7,2		14,8		17,4		18,2		19,40	
átlag	7,14		14,8		17,3		18,9		19,7	
szórás	0,1		0,11		0,54		0,33		0,24	
rel. szórás	1,4%		0,74%		3,12%		1,75%		1,2%	

3. Táblázat Mérési pontok összehasonlítása

Amennyiben a mérőcsoportok mérési sorozatait külön-külön vesszük górcső alá, és a sorozatonként meghatározható regressziós görbék együtthatóit és gyökeit vizsgáljuk, hasonló eredményre jutunk. Az átlagos eltérés az elméleti talpponttól ekkor $-0,008 A$, és $-4,28 Nm$.

A sorozatok relatív szórása a talppontokra nézve áramerősség (I_t oszlop adataiból) tekintetében 94%-os, míg nyomaték ($M(I_t) = C$ oszlop adataiból) tekintetében pedig 52%-os.

Fontos kitérni arra a tényre is, hogy a többségtől eltérő mérési pontokat felvett mérőcsoportok eredményei sokkal pontosabban közelítik az összes mérés összesítéséből eredő görbét, mint a többi sorozat önmagában.

A 6. mérőcsoport mérési pontjaira fektetett regressziós görbe együtthatói jó közelítéssel meggyeznek az összesített eredmények feldolgozásakor kapott görbe együtthatóival. Ezeket az értékeket még a 8. mérőcsoport által meghatározott együtthatók közelítik a legjobban, egy-két százalékos pontossággal.

Az abszolút hibák és a relatív szórások alapján megállapítható, hogy a hallgatói mérések során fellépő bizonytalanság érdemi hibát eredményezett.

ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunkban egy főáramkörű egyenáramú villamos motor mérési eredményeinek felhasználásával szemléltettük a parametrikus modellbizonytalanság egy legjellemzőbb forrását – a mérési bizonytalanságot. A vizsgálatunk során kapott eredmények jól felhasználhatóak az oktatásban. Részben, a hallgatók adott mérésre való felkészítésekor bemutathatók a várható mérési pontatlanságok és azok következményeinek szemléltetésére. Másrészt, a rendszertechnika jellegű tantárgyak keretében a modellbizonytalanság témakör oktatása során.

A Szerzők további kutatásainak egyik célja a mérési bizonytalanságok további oktatási célú elemzése.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Bencsik-Felker-Fűrész-Harkay-Kerekes: Laboratóriumi gyakorlatok és feladatok a mechatronika alapjai tárgyakhoz, Budapesti Műszaki Főiskola, Budapest, 2005.
- [2] Nagyné Halász, E.; Pokorádi L.: Parametrikus modellbizonytalanság: egy anyagvizsgálati példa, A XXI. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka előadásai, Kolozsvár, 2016, 293-296.
- [3] Pokorádi L.: Rendszerek és folyamatok modellezése, Campus Kiadó, Debrecen, 2008
- [4] Pokorádi L.; Molnár B.: A Monte-Carlo szimuláció szemléltetése, Szolnoki Tudományos Közlemények XIV, 2010, 1-12.
- [5] Uray Vilmos-Szabó Szilárd: Elektrotechnika, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1995.

ANALYSIS OF THE MEASUREMENT UNCERTAINTY OF THE SERIES EXCITATION DC MOTOR

During engineering measurements and calculations, there is a parametric uncertainty that can be modeled and described by appropriate mathematical methods. The main purpose of the measurements of electric machines is to determine the accuracy of their characteristics. This study presents one of the main sources of parametric model uncertainty, and illustrates it by means of the results of student measurement groups through the example of determining the series excitation DC motor characteristic curve.

Keywords: *electric machines, characteristic curve, measurement, model uncertainty, parametric model uncertainty*

Stein Vera
mestertanár
Óbudai Egyetem
Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet
Mechatronika Tanszék
stein.vera@bgk.uni-obuda.hu
orcid.org/0000-0002-8868-1677

Stein Vera
assistant
Óbuda University
Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering
Department of Mechatronics
stein.vera@bgk.uni-obuda.hu
orcid.org/0000-0002-8868-1677

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

Pokorádi László, CSc
Full Professor
Óbuda University
Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering
pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu
orcid.org/0000-0003-2857-1887



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-08-0431_Pokoradi_Laszlo-Stein_Vera.pdf

Kling Fanni, Somosi Vilmos, Pokorádi László, Rohács Dániel

BUDAPEST LISZT FERENC NEMZETKÖZI REPÜLŐTÉR LÉGIJÁRMŰ FORGALMÁNAK ELEMZÉSE MARKOV-FOLYAMATOKKAL

A jelentős légi jármű forgalmat bonyolító repülőterek működése szempontjából kiemelten fontos az üzemeltetési eljárások elemzése a hatékonyság optimalítása, valamint a kapacitás növekedését biztosító fontosabb beruházások meghatározása érdekében. A teljesítménymutatók elemzésére egyik használható eljárás a Markov-típusú sorbanállási modellek alkalmazása, melyekkel kiválóan modellezhetőek a repülőtéri kiszolgálási rendszerek, vagy akár a repülőtéri infrastruktúra (guruló utak, futópálya, állóhelyek és utas-mólók) egyes tényezői (késések, kihasználtság, maximális terhelhetőség). Tanulmányunk a Markov modellek alkalmazási lehetőségét mutatja be a légi jármű forgalom elemzésére a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér példáján keresztül.

Kulcsszavak: Markov folyamatok, sorbanállási modellek, repülőtéri kapacitásvizsgálat, léginnavigációs szolgáltatás

BEVEZETÉS

Egy közforgalmú repülőtér kapacitását különböző területek, szempontok befolyásolhatják. Ezért fontos figyelembe vennünk az utasforgalmi tényezőket, ground handling folyamatokat, és a repülőtéri infrastruktúrát, légiközlekedési sajátosságokat. A reptéri működés fejlesztése az európai uniós SESAR programnak is sarkalatos pontja [1]. A vizsgálatok pedig gyakran használnak matematikai modelleken alapuló szimulációkat a forgalom optimalizálása érdekében [2] [3]. Ugyanakkor a gyorsított idejű szimulátorok beszerzése drága, és egy kezdeti, hozzávetőleges elemzéshez túlságosan részletesek [4]. Ezzel szemben egy másik matematikai modellezés a sorbanállás-elméleten alapszik, amelyet a jelen cikk szerzői is felhasználnak a budapesti Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér futópálya kihasználtságának elemzésére.

A sorbanállás-elmélet gyakran alkalmazott módszer repülőtéri kiszolgálási rendszerek modellezésére [5]. Az elmélet elsősorban kapacitástervezési döntéseknél játszik szerepet [6], amelyek repülőtér esetén például a gurulóutak, futópályák, állóhelyek kihasználtságának elemzéseit jelentheti [5]. Ebből következően, a késések mértéke is elemezhető, amit egyértelműen szemléltet a várakozó, sorban álló gépek száma [4].

Ahhoz, hogy a repülőtéri kiszolgálóegységeket sorbanállási rendszerként kezeljük, definiálni kell a beérkező igényekre jellemző sztochasztikus folyamatot, továbbá azonosítani kell a kiszolgálás idejét, szabályrendszerét. A Markov folyamatokkal jellemezhető sorbanállás elmélet több kutatás szerint alkalmasnak bizonyult a reptéri működés sztochasztikus folyamatainak elemzésére, amely figyelembe veszi a beérkező igényekben és kiszolgálási időben tapasztalt variabilitását [5][7][8][11][12].

Vizsgálatunk célja a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér futópálya-kihasználtságának vizsgálata sorbanállási modell felhasználásával. A repülőtér infrastruktúrájából adódóan a két-pályás üzemmód működését modelleztük, külön-külön elemezve az érkezésre és indulásra

használt futópálya használatát. Az elemzés célja ezen felül további kulcsfontosságú teljesítménymutatók bemutatása, mint várakozó gépek száma és a várakozás ideje. Ezen kívül megfontolásra kerül további modell készítésének lehetősége, ami a fókusz a futópályáról az apronra, ezen belül az állóhelyek kihasználtságának számítására helyezni.

Tanulmányunk az alábbi részekből áll: A 2. fejezet a Markov típusú sorbanállási elméletet mutatja be. A 3. fejezet a vizsgált repülési környezetet írja le. A 4. fejezetben a rendszer Markov típusú sorbanállási modellvizsgálatát, valamint a kapott eredmények szakmai kiértékelését találjuk meg. Végül az 5. fejezetben a Szerzők összegzik a tanulmány elkészítésekor szerzett tapasztalatokat.

A MARKOV TÍPUSÚ SORBANÁLLÁSI ELMÉLET

A sorbanállási elmélet a várakozások elemzésével foglalkozik, célja pedig ismert paraméterek alapján olyan kulcsfontosságú teljesítménymutatók előrejelzése, mint a kiszolgáló foglaltsági valószínűsége, várakozó kliensek száma, és várakozás ideje.

Sorbanállási, kiszolgálási rendszeren olyan rendszert értünk, amelybe a fogyasztók véletlenszerűen érkeznek be, az eltérő igényeik kielégítésére várnak, majd a kiszolgálásuk után a rendszerből távoznak. Egy sorbanállási rendszer modellezéséhez szükséges tudnunk a beérkező fogyasztók belépései közti, valamint a kiszolgálási idők eloszlásfüggvényeit, a kiszolgáló egységek számát és a rendszer kapacitását. A paraméterek definiálásával különböző típusú sorbanállási modell építhető fel [9]. A modellek könnyebb osztályozhatósága érdekében bevezetésre került Kendall jelölésrendszere [10]

$$A / B / m / K / n / D,$$

ahol:

- A – beérkezési időközök eloszlásfüggvénye;
- B – kiszolgálási idők eloszlásfüggvénye;
- m – kiszolgálók száma;
- K – rendszer befogadóképessége (kapacitás);
- n – Populáció száma;
- D – kiszolgálási elv.

A beérkezési és kiszolgálási idők (A és B) eloszlásfüggvénye többféle lehet. Exponenciális eloszlásfüggvény esetén a (beérkezési időknél diszkrét Poisson; kiszolgálásnál exponenciális) az időközök független eloszlású valószínűségi változók [10]. Ez azt jelenti, hogy a beérkezési/kiszolgálási idő valószínűsége független attól, hogy a legutolsó beérkezéstől/kiszolgálástól számítva mennyi idő telt el, így az adott jelenbeli állapot mellett a rendszer jövőbeni állapota nem függ a múltbeliektől [4]. Az emlékezet nélküli („memoryless”) tulajdonság miatt a modellnek ezen osztályát Markovi-folyamatként hívhatjuk, és a Kendall jelölésrendszer alapján M -ként jelöljük. A determinisztikus (D), Erlang (Ek) és általános eloszlásfüggvénnyel (G) jellemezhető beérkezési és kiszolgálási idők jellemzői jelen cikkben nem kerülnek bemutatásra.

További fontos jellemző a kiszolgálók száma. Kiszolgálónak tekintünk minden olyan kiszolgálóegységet, amelyek egyszerre párhuzamosan működnek és egyszerre csak egy igényt kezelnek. Amennyiben több kiszolgáló működik – azaz a rendszer többcsatornás –, a várakozási idők csökkennek, a kiszolgálás gyorsul.

A rendszerbe beengedhető fogyasztók száma korlátozott lehet, ekkor korlátozott befogadóképességű rendszerről beszélünk. Amennyiben a befogadóképesség és az igényforrás (populáció) számossága végtelen, exponenciális eloszlásfüggvényű a modell, és a kiszolgálás First Come First Served (FCFS) elve alapján működik, a jelöléseket és elhagyjuk és a sorbanállási modell osztályozását tekintve $M/M/c$.

Különösen fontos a modelltől kapott teljesítménymutatók elemzése. Legfőbb mutatók a szerver kihasználtsága, a rendszerben átlagosan tartózkodó fogyasztók száma, a sorban átlagosan tartózkodó fogyasztók száma, az átlagos várakozási idő a rendszerben és az átlagos várakozási idő a sorban.

Több kutatás is foglalkozott a sorbanállási elmélet alkalmazásával repülőtéri forgalom modellezésében. Futópályát érintő késések számításához Kivestu [14], Malone [15] és Pyrgiotis [16] alkalmazott markovi sorbanállási modellt. A modellek megfelelőnek bizonyultak a hosszú-távú tervezésben, azaz például annak meghatározásában, hogy egy új futópálya építése hogyan növelné a hatékonyságot a késések csökkentése révén [5].

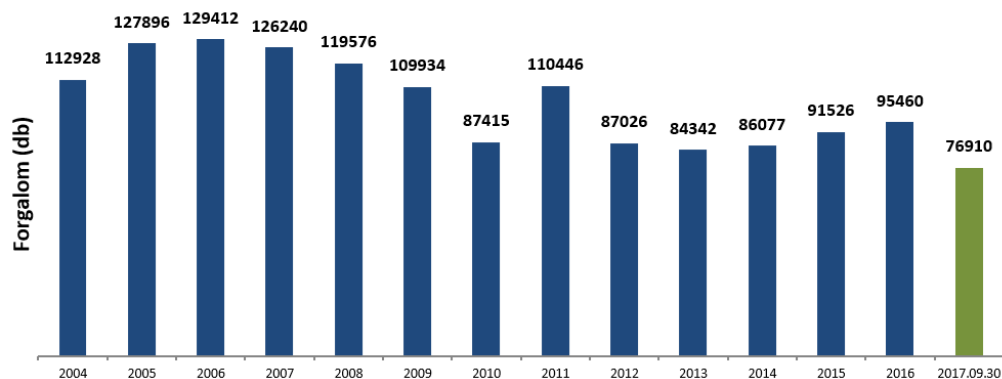
A beérkező gépek folyamatának optimalizálásához Thiagaraj és Seshaiha a fókuszot a kiszolgálási idők eloszlásfüggvényének pontos meghatározására helyezte a koefficiensek pontos definiálásával [4]. Ugyanakkor Willemain szerzőtársaival bizonyította a Poisson eloszlásfüggvény alkalmazásának validitását érkező gépek modellezésére [11].

A gurulóutak késésének modellezésére az LMINET szoftver (NAS sorbanállási modellje) is Markov-folyamatú $M/M/1$ sorbanállási modellt használt fel [12]. A terminálra érkező utasok többszerveres sorbanállási karakterisztikáját Mehri és szerzőtársai vizsgálták meg annak érdekében, hogy kiszámítsák a sorban állás költségét [13]. Mindez azt jelzi, hogy a sorbanállási elmélet alkalmas eszköz a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér légi forgalmának elemzésére.

A REPÜLÉSI KÖRNYEZET

A Markov elméleten alapuló modellt a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér (LHBP¹) induló/érkező légi jármű forgalmáról készítettük, a légiforgalmi irányítói állomány és repülőtéri forgalmi kapacitásérték (terheltség) meghatározása érdekében. A repülőtéri forgalmi hatékonyság mérésének jelentősége különösen felértékelődik, amikor a jelentkező légitársasági igények jelentős forgalmi növekedést prognosztizálnak, illetve amikor nagy értékű infrastrukturális beruházások tervezésére kerül sor. Előbbi igényt szemléltetik az elmúlt évek forgalmi adatai (1. ábra), míg utóbbinak példája a napjainkban folyó állóhely bővítési és utas-móló építési munkálatok [26].

¹ a repülőtér ICAO (ENSZ polgári légiközlekedési szervezete) kódja

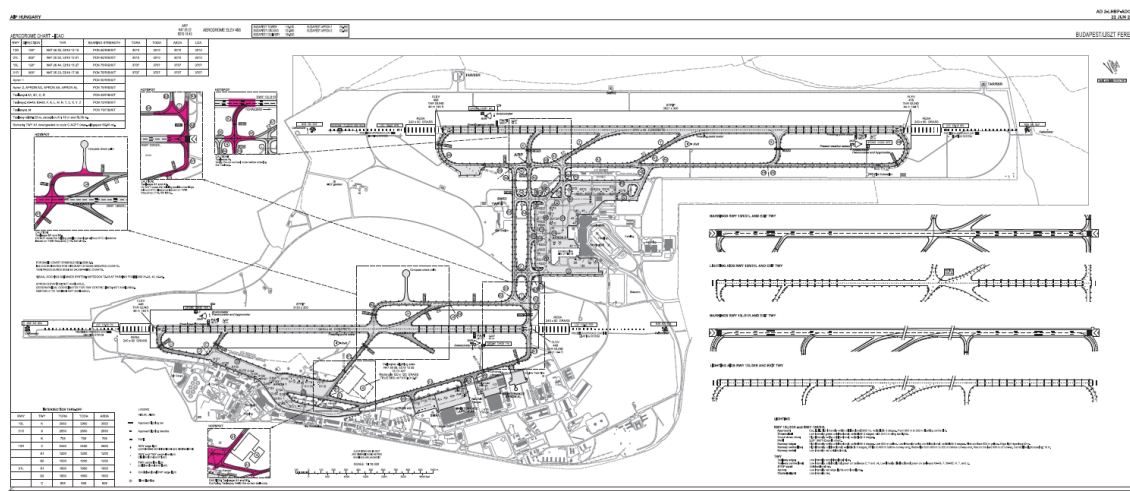


1. ábra Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér forgalma (Forrás: HungaroControl)

A számításokhoz szükséges adatokat olyan időszakban mintavételeztük, amikor a repülőtér korlátozások nélkül, mindkét futópályával üzemelt.

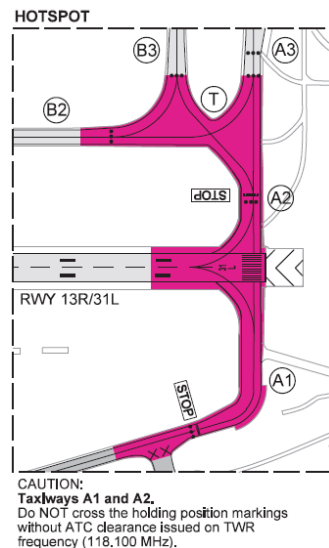
A LHBP olyan komplex környezet, amelynek kapacitási mutatóit és a hatékonysága növelése érdekében javasolt fejlesztéseket összetett modellekkel kell meghatározni. Az összetett modellezés szintén megvalósítható oly módon, hogy a jelen dolgozatban alkalmazott ún. egy szerveres számítások alapján több szerveres modellezéseket is alkalmazunk.

Az egy kiszolgálós modell felállításához a 2. ábrán szereplő térképen elemeztük a repülőtéri környezetet, és olyan infrastruktúra pontot kerestünk, amelyben egyértelmű az input és output meghatározása [24].



2. ábra LHBP repülőtéri forgalmi térkép (forrás: AIP Magyarország)

Megállapítottuk, hogy az előtér (Apron) a több útvonalon történő megközelítés inkább a több szerveres modellezéshez alkalmazandó, ezért a légi járművek földi mozgásának fontosabb szakaszai közül (állóhelyekről és a repülőtéri előtérről a guruló utakon (TWY) át a felszállópályához (RWY) történő gurulás) végül a futópálya és a gurulóutak csatlakozásánál kialakított várópontra szűkítettük a vizsgálati kört. Figyelemmel azonban a ferihegyi infrastruktúrára és eljárásokra, a két párhuzamos futópálya lehetőségei közül az ún. 31L váróponjtját („Hotspot” környezetet) azonosítottuk be, mivel az összes induló légi jármű a felszállópályát kizárólag az A1 és A2 gurulóúton keresztül tudja megközelíteni (3. ábra).



3. ábra RWY 31L környezet (forrás: AIP Hungary)

Az egy szerveres modell alkalmazhatósága végett a repülőtér komplexitására jellemző, és a számítások pontosságát befolyásoló alábbi repülőtéri forgalmi kapacitást korlátozó szempontokat nem vettük figyelembe (szolgáltatások/funkciók, a teljesség igénye nélkül) [25]:

→ Utasforgalmi:

- hosszú távú, illetve induló-érkező oldali rövidtávú gépjárműparkolók száma, elhelyezkedése;
- check-in pultok (javasolt figyelembe venni a non-Schengen/Schengen szabályokat);
- biztonsági kapuk (non-Schengen/Schengen szabályok és a repülőtér biztonsági szintje befolyásoló tényezők);
- beszálló kapuk (mólók/buszos/gyalogos megoldások);

→ Ground handling²:

- poggyász és légiáru kezelés;
- üzemanyagtöltő kocsik, targoncák, vontatóvillák, jégtelenítők száma;
- repülőtéri karbantartó járművek, follow-me autók és marshaller-ek rendelkezésre állása;

→ Repülőtéri infrastruktúra, légiközlekedési sajátosságok:

- futópályák és guruló utak száma, elhelyezkedése³;
- állóhelyek száma;
- irányító szolgálat kapacitása (légiforgalmi irányítók száma);

² A rendelkezésre álló infrastruktúra, de maga a légi jármű (utasok, üzemanyag, kért szolgáltatás) jelentős mértékben befolyásolja az úgynevezett turn-around időt (ameddig a légi járműnek az állóhelyen kell tartózkodnia az újabb repülési feladatig)

³ Az érkező forgalmi kapacitást alapvetően a futópálya (RWY) felszabadítását biztosító gurulóutak (TWY) elhelyezkedése és rendelkezésre állása befolyásolja; LHBP RWY 31R esetében a gyors gurulóutak gyorsabb pályaelhagyást biztosítanak (ld. 2. sz. ábra)

→ időjárásból, illetve turbulencia vagy zajcsökkentési eljárásokból adódó forgalmi korlátozások⁴.

A fenti tényezőket az elemzés következő fázisában, a többszerveres modell alkalmazásakor vesszük figyelembe.

A LÉGIJÁRMŰ FORGALOM MODELLEZÉSE

Jelen tanulmányunkban az úgynevezett $M/M/1$ sorbanállási modellt alkalmazzuk. Az $M/M/1$ modell esetén a beérkezési folyamat λ paraméterű Poisson eloszlásfüggvénnyel jellemezhető, míg a kiszolgálási idők μ paraméterű exponenciális eloszlású valószínűségi változók. Feltételezzük továbbá, hogy λ és μ egymástól független változók. A memórianélküli tulajdonság miatt a rendszer jelen állapota nem függ a kezdeti állapottól, folytonos idejű Markov-lánc lesz, amelyben az igények egyesével érkeznek be. A rendszer állapotváltozásainak valószínűségére jellemző a születési-halálozási folyamat. Azaz, a rendszer állapotának növekedése akkor történik, ha egy igény beérkezett, és ez az arány λ -val egyenlő. Hasonlóan, a rendszer állapotának csökkenése akkor történik, ha az igény távozott, és ez az arány μ -vel jellemezhető. A stabilitás kondíció (equilibrium analysis) alapján belátható, hogy:

$$(P_{n-1}(\lambda)) = (P_n(\mu)) \cdot \quad (1)$$

A sorbanállási rendszerek működését a születési-halálozási folyamatokkal is lehet modellezni, így a további mutatókkal fontos összefüggéseket mutat.

Hatékonysági mutatóként szolgál a szerver kihasználtsága, amely megmutatja, az idő hányad részében foglalt a rendszer.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (2)$$

Mindez összefüggést mutat a születési-halálozási folyamat stabilitás kondíciójával, hiszen:

$$P_n = (\rho)(P_{n-1}) \quad (3)$$

Mivel a memórianélküliség tulajdonság alkalmas arra, hogy a rendszer aktuális állapotát meghatározzuk, kiszámítható adott számú igény jelenlétének valószínűsége:

$$P_n = (\rho^n)(P_0) \quad (4)$$

Továbbá kiszámolható a rendszerben tartózkodó igények átlagos száma:

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad (5)$$

Little's törvény alapján (a rendszerben lévő átlagos igények a beérkezési folyamat és az átlagos rendszerben eltöltött idő szorzata), az igény rendszerben eltöltött átlagos ideje, W_s :

⁴ Alaphelyzetben az induló forgalom esetében az azonos sztenderd indulási eljárást (SID) követő légi járművek esetében ez az elkülönítési idő; ezt befolyásolhatja az eltérő turbulencia kategória (például heavy-t medium vagy light követ) vagy az eltérő géptípusok (turboprop vs. jet sebesség és emelkedési ráta miatt)

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} \quad (6)$$

Az igény átlagos sorban töltött ideje meghatározható, ha a teljes rendszerben töltött idejéből kivonjuk az elvárt kiszolgálási időt:

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (7)$$

Ahhoz pedig, hogy a sorban álló átlagos igényszámot meghatározzuk:

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (8)$$

Jelen tanulmányunkban külön vizsgáljuk a felszállási és leszállási folyamatot, ezért két $M/M/1$ modellt készítettünk. Az igényeket a repülőgépek szemléltetik. A beérkezési folyamat, λ az adott időegység alatt felszálló/leszálló repülőgépek száma. Az m kiszolgálóként szolgál a futópálya használata felszálláshoz és leszálláshoz. Kiszolgálási idő kezdetének a várópont elhagyását/leszállás megkezdését vettük, míg végének azt a pontot, ami után a légiforgalmi irányító újabb gépet indíthat/ fogadhat. Az adott időintervallumot (60 perc) elosztottuk az átlagos kiszolgálási idővel, így megkapva a 60 perc alatt átlagosan kiszolgálható gépek μ számát. Nem foglalmaztunk meg reptérkapacitásra vonatkozó értéket és populációszámot.

A beérkező gépek számát, beérkezési időközöket a HungaroControl Zrt. módszertani osztályon dolgozó szakértői bocsátották rendelkezésre. Az induló gépekhez olyan 1 órás időszávot választottunk ki az elemzésre, amelyben a beérkezési időközök közötti idő nem tulajdonítható külső faktornak (pályairány váltás, menetrendbeli nagy különbség). A pályairány 31L (lásd 1. táblázat). Az érkező gépekhez két munkanapon délutáni, 1 órás időszávot választottunk ki (lásd 2. táblázat). A pályairány érkezőknél 13R. Az átlagos kiszolgálási időt a deklarált kapacitásértékből határoztuk meg mindkét folyamatnál. A számításnál feltételeztük, hogy az időjárás viszonyok, így az átlagos kiszolgálási idő változatlan marad.

Fontos megjegyezni, hogy a kiszolgálási időközök egymástól függetlenek és egyenletes eloszlású exponenciális folyamatok, ami ezáltal még az ATC elkülönítési szabályokból adódó variabilitáson felül is viszonylag nagy szórást visz a számításba.

Sorbanállási modell jellemzői ($M/M/1$)	Érték 31L	
	2017 aug.2. 18:28–19:28	2017 aug.5. 06:35–07:35
Beérkező gépek száma (λ)	15	11
A szerver által átlagosan kiszolgálható gépek száma 1 óra alatt (μ)	30	30
Szerver (m)	1	1

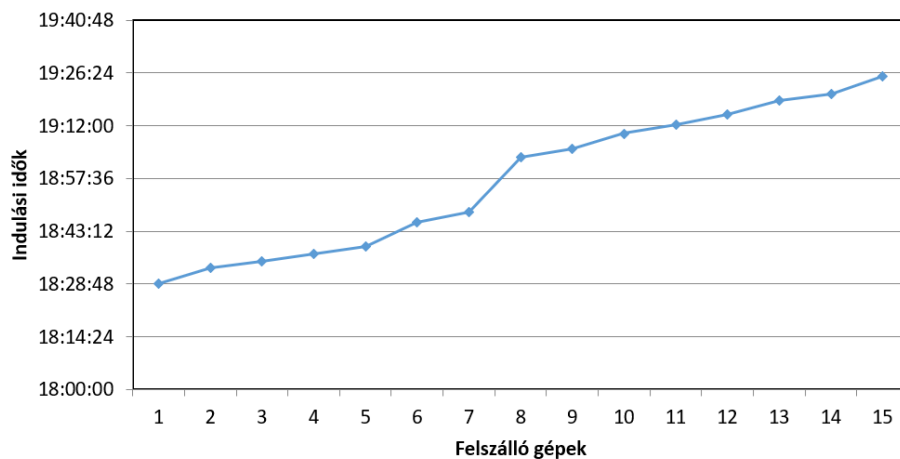
1. táblázat Az induló gépek sorbanállási modelljének jellemzői

A modelleket az R statisztikai szoftver queueing csomagjával készítettük [17] [18]. A csomagba sokféle Markov típusú sorbanállási modell került beépítésre, és az algoritmusok a teljesítménymutatókat is visszaadják lefuttatásuk után.

Sorbanállási modell jellemzői (M/M/1)	Érték 13R	
	2017 aug.4. 17:04-18:04	2017 aug.7. 17:00-18:00
Beérkező gépek száma (λ)	14	17
A szerver által átlagosan kiszolgálható gépek száma 1 óra alatt (μ)	30	30
Szerver (m)	1	1

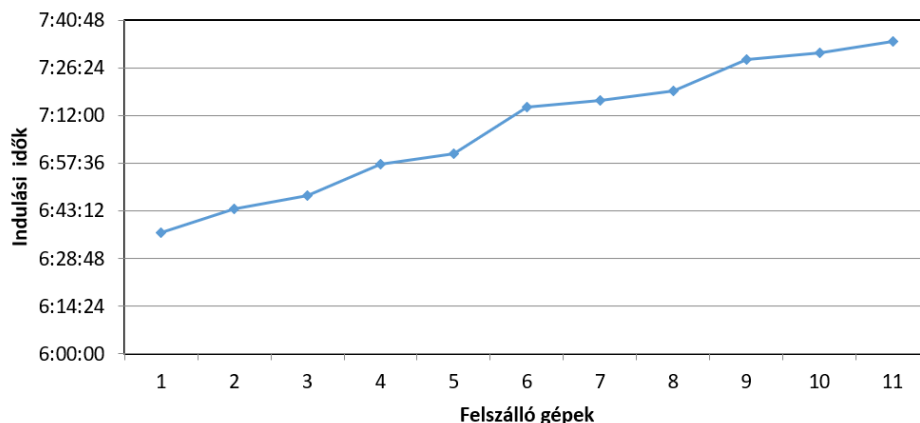
2 táblázat Az érkező gépek sorbanállási modelljének jellemzői

Az augusztus 2-i induló gépek eredménye alapján a szerver kihasználtság 50%-os, az átlagosan a váróponton lévő gépek száma csekély ($L_q=0,5$), az átlagos várakozási idő a sorban 2 perc ($W_q=0,0333$ óra).



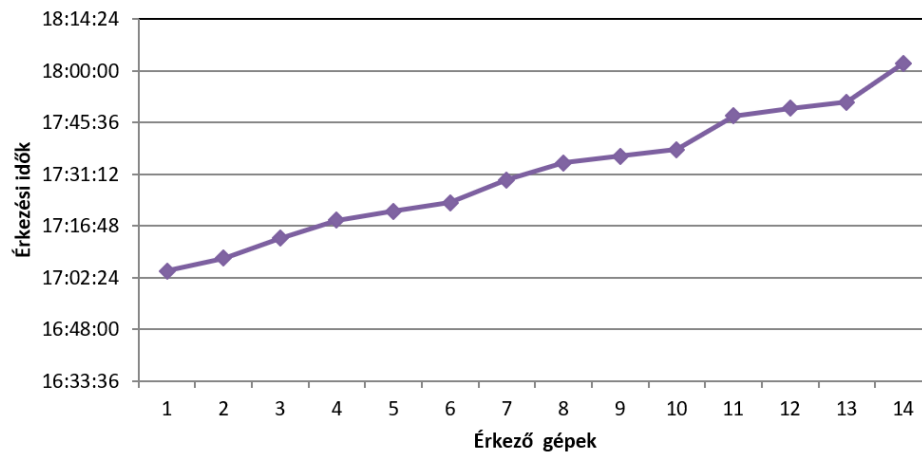
4. ábra Induló gépek között eltelt idő augusztus 2-án este

Az augusztus 5-i induló gépek eredménye alapján a szerver kihasználtsága 36%-os, az átlagosan a váróponton lévő gépek száma csekély ($L_q=0,21$), az átlagos várakozási idő a sorban 1,1 perc ($W_q=0,019$ óra).



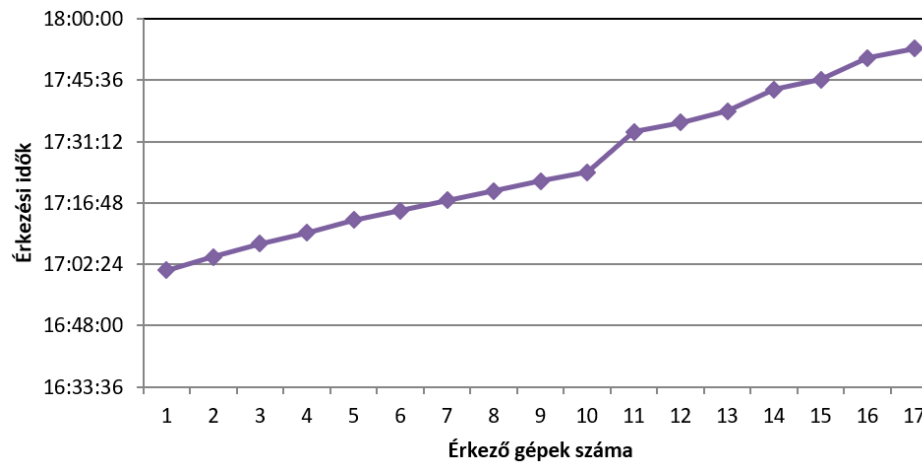
5. ábra Induló gépek között eltelt idő augusztus 5-én reggel

Az augusztus 4-i érkező gépek eredménye alapján a kiszolgáló kihasználtság 46%-os ($\rho = 0,46$), az átlagosan leszállásra várakozó gépek száma 0,4 ($L_q = 0,4$), az átlagos várakozási idő ehhez 1,74 perc ($W_q = 0,029$ óra).



6. ábra Érkező gépek között eltelt idő augusztus 4-én este

Az augusztus 7-i érkező gépek eredménye alapján a kiszolgáló kihasználtsága 56%-os ($\rho = 0,56$), az átlagosan leszállásra várakozó gépek száma csekély ($Lq = 0,74$), az átlagos várakozási idő ehhez 2,6 perc ($Wq = 0,043$ óra).



7. ábra Érkező gépek között eltelt idő augusztus 7-én este

ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálatunk célja a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér futópálya-kihasználtságának vizsgálata sorbanállási modell felhasználásával. A repülőtér infrastruktúrájából adódóan a két-pályás üzemmód működését modelleztük, külön-külön elemezve az érkezésre és indulásra használt futópálya használatát. Az elemzés célja ezen felül további kulcsfontosságú teljesítménymutatók bemutatása volt, mint várakozó gépek száma és a várakozás ideje.

Az eredmények azt mutatják, hogy az adott időintervallumban vizsgált futópálya kihasználtsága közepes (30-56%-os), a kiszolgálásra való várakozás ideje nem haladta meg a 3 percet. A kihasználtság ugyan változott a munkanapok és hétvégék különböző napszakjaiban, de csupán minimális különbséggel. Figyelembe véve, hogy a meghatározott futópálya kapacitás érkező és induló gépek esetében is 30 volt 2017 nyarán, megállapítható, hogy a futópálya nem jelentett szűk keresztmetszetet abban az időszakban.

Az eredmények tükrében érdemes lehet a sorbanállási elmélettel a terminálra fókuszálni. Az Apron állóhelyeinek kihasználtsága tökéletes input lehet markovi többszerveres sorbanállási folyamatelemzéshez, amelyben a beérkező gépek számának, az átlagos kiszolgálási időnek és az állóhelyek számának ismeretében a teljesítménymutatók kiszámolhatóak.

Megjegyzendő, hogy a sorbanállási elmélet számos kutató szerint nem a legmegfelelőbb eszköz a reptéri operációk hatékony elemzésére, mivel a beérkezési és kiszolgálási idők becsült értékei nem elég pontosak [19]. Tény, hogy az irodalmak nem feltétlenül értenek egyet abban, hogy a beérkezési és kiszolgálási időközök időben független, exponenciális folyamatot követnek a reptéri indulási és érkezési folyamatokat vizsgálva, vagy időben egymástól függő folyamatokról van szó [6] [20]. Belátható, hogy különböző befolyásoló tényezők hatnak a fel- és leszállás alatti kiszolgálási időtartamra. Alapvető, hogy megfelelő térközt kell biztosítani felszálló-felszálló és leszálló-leszálló gépek között, a különböző turbulencia kategóriájú gépek között eltérő az elkülönítés mértéke, és mindez érvényes a kiszolgálóegységben eltöltött időre is (azaz, amíg nem szállhat fel/le újabb gép). Ezért Ebert javasolja a dinamikus sorbanállási rendszerek alkalmazását, amely figyelembe veszi azt, hogy a beérkezési és kiszolgálási időközök nem függetlenek [6]. Fontos megjegyezni, hogy a dinamikus, időben változó eloszlások leginkább akkor indokoltak, ha egész nap kerül modellezésre, vagy pályairányváltás történik, vagy az időjárási körülmények változnak [23]. Ebben az esetben a klasszikus sorbanállási elméletre jellemző, stacionárius állapotú modellek („steady state”) nem ajánlottak.

A vizsgált rövid, 1 órás intervallum alapján a beérkezési időközök és a kiszolgálási időközök nem mutattak ehhez hasonló variabilitást, a rendszer a megszokott stacionárius állapotban volt. A beérkezési folyamat ugyan nem volt teljesen folyamatos; a Markov folyamat véletlen jellege jól magyarázta a forgalom időnkénti megugrását illetve csökkenését. A kiszolgálási folyamat markovi jellege Willemain [11], illetve Dou és szerzőtársai [12] által validált, míg Ebert [6], Kelton [19] és Koopman [20] által kritizált, mindenesetre érdemes megfontolni egy szintén sztochasztikus, de kisebb szórású és dinamikus (időben összefüggő, Erlang eloszlású) folyamatot, amely az ATC elkülönítési szabályokat is figyelembe veszi [22].

Továbbá megjegyzendő, hogy a sorbanállási modellek közelítő, becsülő értéket adnak a reptéri operáció hatékonysága szempontjából. Pontosabb elemzések érdekében léteznek olyan szimulációk, amelyek élethűen modellezik a repülőgép mozgását, figyelembe véve az egyes géptípusok képességét, a köztük lévő interakciók szabályait az ATC elkülönítési szabályok alapján [21].

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SESAR JOINT UNDERTAKING. "SESAR 2020 Multi Annual Work Program." (2015)
- [2] Lee, Hanbong, et al. "Taxi time prediction at Charlotte Airport using fast-time simulation and machine learning techniques." 15th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operation (ATIO) Conference, Dallas, TX. 2015.
- [3] Günther, Yves, et al. "Improved airport operations planning by using tailored forecasts of severe weather." (2015): 1-12.
- [4] THIAGARAJ, H. B., and C. V. SESHIAH. "A Queuing Model for Airport Capacity and Delay Analysis." *Applied Mathematical Sciences* 8.72 (2014): 3561-3575.
- [5] Simaiakis, Ioannis, and Hamsa BALAKRISHNAN. "A queuing model of the airport departure process." *Transportation Science* 50.1 (2015): 94-109.
- [6] Ebert, Anthony, et al. "Computationally Efficient Simulation of Queues: The R Package queuecomputer." arXiv preprint arXiv:1703.02151 (2017).
- [7] Pokorádi, László. "Rendszerek és folyamatok modellezése." Campus Kiadó, Debrecen 242 (2008).
- [8] Pokorádi, László. "Queuing Models Used to Investigate Technical Logistics." *Advanced Modeling and Optimization* 4.2 (2002): 9-14.
- [9] Bhat, U. Narayan. *An introduction to queueing theory: modeling and analysis in applications*. Birkhäuser, 2015.
- [10] Ferenczi, Dóra. *Sorbanállási problémák*. Thesis. Eötvös Loránd Tudományegyetem, 2014.
- [11] Willemain, Thomas R., Hui FAN, and Huaiyu MA. "Statistical analysis of intervals between projected airport arrivals." *Rensselaer Polytechnic Inst., DSES Tech. Rept* (2004): 38-04.
- [12] Long, Dou, et al. "Modeling air traffic management technologies with a queuing network model of the national airspace system." *Tech. rep., NASA Langley Research Center, Hampton, VA. Technical Report NASA/CR-1999-208988*. (1999).
- [13] Mehri, Houda, Taoufik DJEMEL, and Hichem KAMMOUN. "Solving of waiting lines models in the airport using queuing theory model and linear programming the practice case: aimhb." hal-00263072, version 2 - 2 Apr 2008. (2006).
- [14] Kivestu, Peeter Andrus. *Alternative methods of investigating the time dependent M/G/k queue*. Diss. Massachusetts Institute of Technology, 1976.
- [15] Malone, Kerry Marie. *Dynamic queueing systems: behavior and approximations for individual queues and for networks*. Diss. Massachusetts Institute of Technology, 1995.
- [16] Pyrgiotis, Nikolaos. *A stochastic and dynamic model of delay propagation within an airport network for policy analysis*. Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2012.
- [17] R CORE TEAM. „R: A language and environment for statistical computing”. *Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>. (2016)
- [18] Canadilla Pedro. *queueing: Analysis of Queueing Networks and Models*. R package version 0.2.11, <https://CRAN.R-project.org/package=queueing>. (2017).
- [19] Kelton, W. David. *Simulation with ARENA*. McGraw-hill, 2002.
- [20] Koopman, Bernard O. "Air-terminal queues under time-dependent conditions." *Operations Research* 20.6 (1972): 1089-1114.
- [21] De Wet, Karlien. "Airport capacity analysis and configuration." Thesis. University of Pretoria. (2011).
- [22] Jacquillat, Alexandre. *A queuing model of airport congestion and policy implications at JFK and EWR*. Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2012.
- [23] Gupta, Shubham. *Transient analysis of D (t)/M (t)/1 queuing system with applications to computing airport delays*. Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2010.
- [24] AIP HUNGARY LHBP CHARTS <https://ais.hungarocontrol.hu/aip/2017-12-07/>
- [25] AIP HUNGARY LHBP AD 2.21 NOISE ABATEMENT PROVISIONS <https://ais-en.hungarocontrol.hu/aip/2015-02-05/>
- [26] BUDAPEST AIRPORT: Gyors ütemben épül az új utasmoló a repülőtéren. Forrás: http://www.bud.hu/budapest_airport/media/hirek/gyors-utemben-epul-az-uj-utasmolo-a-repuloteren-24930.

**AIR TRAFFIC ANALYSIS BY MARKOV MODELLING AT BUDAPEST
LISZT FERENC INTERNATIONAL AIRPORT**

High density airports constantly require assessments of procedures in order to increase operational efficiency and to identify significant investments. Queuing models with Markov process are one of the tool to analyse key performance indicators and modelling airport handling systems or certain aspects (delay, throughput, maximum load) of airport capacity (taxiways, runway, aprons and passenger gates). Our study introduces the possibility of Markov model application for air traffic analysis at Budapest Liszt Ferenc International Airport.

Keywords: Markov process, queuing models, airport capacity assessment, air navigation service provision

Kling Fanni szimulációs adatelemző HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt fanni.kling@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0001-7379-9069	Fanni Kling Data Scientist HungaroControl Hungarian Air Navigation Services fanni.kling@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0001-7379-9069
Somosi Vilmos FAB program menedzser és polgári-katonai együttműködési koordinátor HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt vilmos.somosi@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-4763-2174	Vilmos Somosi FAB Program manager and civil-military coopera- tion coordinator HungaroControl Hungarian Air Navigation Services vilmos.somosi@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-4763-2174
Dr. Pokorádi László, CSc egyetemi tanár Óbudai Egyetem Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0003-2857-1887	Pokorádi László, CSc Full Professor Óbuda University Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0003-2857-1887
Dr. Rohács Dániel, PhD Szakmai Fejlesztési Osztályvezető HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt daniel.rohacs@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417	Dr. Dániel Rohács, PhD Head of Research, Development & Simulation Dept. HungaroControl Hungarian Air Navigation Services daniel.rohacs@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-09-0429_Kling_Fanni_et_al.pdf

Nagy Sándor

A LAKOSSÁGVÉDELEM SZEMPONTJÁBÓL RELEVÁNS VESZÉLYFORRÁSOK OSZTÁLYOZÁSA, AZOK LEHETSÉGES KOCKÁZATAI A LÉGIKÖZLEKEDÉSRE

A katasztrófák csoportosítására a szakirodalomban több példa is létezik. A tudományos irodalom mellett még jogszabály is osztályozza őket. Ennek ellenére a 2011. évi és a 2014. évi nemzeti kockázatértékelések eltérő veszélyforrásokkal foglalkoznak és láthatóan nem koherensek a települési katasztrófaértékelésekhez jogszabály alapján meghatározott csoportosítással. A cikk célja, hogy bemutassa, a jelenlegi rendszer nem egységes, illetve egy lehetséges, a jelenleginél átláthatóbb, és logikusabb osztályozási rendszerre is javaslatot tegyen.

Kulcsszavak: veszélyek, kockázatok, kockázatértékelés, természeti, technológiai, társadalmi katasztrófák

BEVEZETÉS

Bolygónk sajátossága, hogy annak különböző pontjain eltérő éghajlati viszonyok érvényesülnek. Egy-egy adott térségben az éghajlatbeli különbségek mellett, a geológiai viszonyok szintén adottak tekinthetők, és ezek a sajátos természeti viszonyok, különösen a szélsőséges megjelenésük, veszélyt jelenthetnek az életre. Ez mellett figyelembe kell venni, hogy a „civilizált” ember életét kiszolgálni csak egyre gyorsabban fejlődő ipar képes. Ráadásul Földünk népessége egyre nő. Az iparosodás önmagában is hordoz veszélyeztető hatásokat, hiszen a termelés során különböző, akár az emberi életre veszélyes termékeket is gyárt, használ, illetve készletez. A Föld népességének geopolitikai megoszlása, valamint a rendelkezésre álló természeti erőforrások eloszlása nem egyenletes. Az erőforrások feletti uralom megszerzése a történelem folyamán többször háborúhoz vezetett. Ahogy azt korunk egyik elismert és megbecsült amerikai filozófusa és politológusa, N. J. Slabbert írja¹, nem nagyon ismert olyan korszak az ember megjelenése óta planétánkon, amikor ne lett volna háború, illetve fegyveres összeütközés az érdekek érvényesítésére [1]. Ezek a tevékenységek alaprendeltetésükből adódóan veszélyeztetik az emberi életet.

A fegyveres konfliktusok szó szerint a kertjeink végében zajlanak, a délszláv háború rendezésére jelenleg is állomásoznak katonák a Balkánon, 2014 óta Ukrajna is forrong, és az Iszlám Állam is láthatóan Európára kívánta kiterjeszteni a Földközi-tenger keleti szegletében vívott háborúját.

A XXI. századra is igaz az a bölcs gondolat, hogy „*semmi sem állandó, csak a változás maga*”². A változó éghajlat, a változó biztonságpolitikai környezet mind befolyással van a lakosság biztonságára. A biztonság, mint fogalom értelmezésének kiterjedt irodalma létezik. A lakosságvé-

¹ N.J. Slabbert szerint az emberi társadalomban a háború mindig az egyes csoportok közötti konfliktusok megoldásának legkönnyebb, legkedveltebb eszköze volt, amivel párhuzamosan sosem fordított az emberiség elegendő figyelmet a béke fenntartásának konstruktív folyamatára.

² Epheszoszi Hérakleitosz (kb. Kr. e. 535 – Kr. e. 475),

delem szemszögéből tekintve biztonság alatt a veszélyektől mentes létet, vagy az azokkal szembeni ellenálló képességet értjük. Erre utal a fogalom keletkezése is, hisz a nyelvtudomány szerint a latin „securus”³ szóból ered, ami magyar fordításban aggodalom nélküli állapotot jelent.

Barry Buzan⁴, Ole Wæver⁵ és Jaap de Wilde⁶ a biztonság fogalmát kiszélesített értelemben katonai, politikai, gazdasági és társadalmi szektorokra osztotta [2]. Hangsúlyozták, hogy ezek a szektorok csak elméletben elkülöníthetőek. A valóságban ezeket a biztonság egymást részben átfedő oldalaiként, különböző vizsgálati szempontokként értelmezhetjük. A lakosság szemszögéből tekintve a biztonság tehát oszthatatlan, mivel teljesen mindegy melyik elméleti szejletében keletkezik a veszélyeztetés, az kihatással lesz a többire is.

A korábbiakban már említettem, hogy a földrajzi viszonyokból adódóan szabályszerűen következnek bizonyos környezeti jellemzők az adott élettérre (ökoszisztémára). Ez lehetőséget nyújt arra, hogy a hazánkra jellemző veszélyforrásokat behatárolhassuk és elemezhessük, illetve azokat kiegészítve az iparból, és a geopolitikai viszonyokból származó veszélyekkel egy aktualizált veszélyforrás katasztert állíthassunk össze.

VESZÉLYFORRÁSOK OSZTÁLYOZÁSÁNAK GYAKORLATA

Magyarország települései katasztrófavédelmi osztályba sorolása

A kockázatértékelések honi gyakorlatában a települések katasztrófavédelmi osztályba sorolását leíró kormányrendelet [3], az első jogi norma, amelyben megtalálható a lakosságvédelem szempontjából releváns veszélyforrások csoportosítása, illetve felsorolása az alábbiak szerint:

1. Elemi csapások, természeti eredetű veszélyek

- a) árvíz;
- b) belvív;
- c) rendkívüli időjárás;
- d) földtani veszélyforrások:
 - da) földrengés;
 - db) földcsuszamlás;
 - dc) beszakadás;
 - de) talajsüllyedés;
 - df) partfalomlás.

2. Ipari szerencsétlenség, civilizációs eredetű veszélyek

- a) a Kat. IV. fejezetének hatálya alá tartozó üzem;
- b) más létesítmény (ipari, mezőgazdasági) általi veszélyeztető hatás, veszélyes anyag szabadba kerülésének kockázata;
- c) távolság nukleáris létesítménytől:
 - ca) atomerőműtől;
 - cb) kutatóreaktortól;

3 Lásd: Charlton T. Lewis and Charles Short (1879) A Latin Dictionary, Oxford: Clarendon Press, Forrás: <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.04.0059:entry=securus>

4 Barry Gordon Buzan (1946. április 28.), a Londoni Gazdasági és Politikai Tudományok Iskola Professor Emeritusa.

5 Ole Wæver (1960. szeptember 17) A Koppenhágai Egyetem, Politikai Tudományok Tanszékének professzora.

6 Jaap de Wilde (1957. május 17) a Groningani Egyetem (Hollandia) nemzetközi kapcsolatok és politikai tudományok professzora.

- d) közlekedési útvonalak és csomópontok:
 - da) veszélyes áruk szállítása;
 - db) jelentős forgalom;
- e) a Kat. IV. fejezetének hatálya alá nem tartozó, katonai célból üzemeltetett veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek, veszélyes anyagokkal foglalkozó létesítmények.

3. Egyéb eredetű veszélyek

- a) felszíni és felszín alatti vizek (elsősorban az ivóvízbázisok) sérülékenysége;
- b) humán járvány vagy járványveszély, valamint állatjárvány;
- c) a riasztási küszöböt elérő mértékű légszennyezettség.

4. Kritikus infrastruktúrákkal kapcsolatos kockázatok

- a) a lakosság alapvető ellátását biztosító infrastruktúrák sérülékenysége;
- b) a közlekedés sérülékenysége;
- c) a közigazgatás és a lakosság ellátását közvetve biztosító infrastruktúrák sérülékenysége.

A fenti felsorolásra azért volt szükség, hogy Magyarország területén a 3177 településen, illetve fővárosi kerületben, a kockázatok azonosítása egységesen történjen. A települési kockázatelemzési eljárásban a kockázatazonosítást a csoportosított felsorolás szerinti megfelelés ellenőrzésével hajtják végre. Értelem szerűen, az adott település szempontjából nem meghatározó kockázatokat kizárják.⁷

Magyarország nemzeti szintű kockázatelemzése

A települési szinteken használt veszélyforrás kategorizálás mellett a gyakorlatban más csoportosítást is találunk. 2011. és a 2014. évben elkészült hazánk nemzeti szintű katasztrófakockázatelemzése, a következőekben vizsgáljuk meg, ezek milyen veszélyforrásokkal számoltak.

A 2011. évi nemzeti katasztrófakockázatelemzésnél figyelembe vett veszélyforrások

A 2011. évi „Nemzeti Katasztrófa Kockázat Értékelés”-t [4] hat területen értékelte a kockázatot. Az előzetesen „fő katasztrófaveszély”-ként azonosított (1) ár- és belvízi veszélyeket, (2) a rendkívüli időjárás hatásait, (3) a társadalmi kockázatokat, (4) az erdőtüzeket, (5) a földrengéseket, (6) az ipari baleseteket és ipari kockázatokat elemezte. Az értékelés végeredményeként kimutatásra került, hogy az ár- és belvízi veszélyek jelentették az akkori viszonyok között az ország legnagyobb veszélyeztetettségét. A hat főcsoporton belül néhány esetben tovább bontotta a kockázatokat az alábbiak szerint:

1. Ár- és belvízi veszélyek

- a) árvíz;
- b) belvíz;
- c) villámárvíz.

2. Rendkívüli időjárás hatásai

- a) hőmérsékleti viszonyok;
- b) csapadékviszonyok;
- c) szél;
- d) napsugárzás, napfénytartam és felhőzet.

⁷ Például a dél-alföldi települések döntő többsége esetében az 1. d. db) – df) pontokat nem kell a kockázatelemzésbe bevonni, mivel ott ezek a veszélyforrások nem bukkanhatnak fel

3. Társadalmi kockázatok

- a) migráció;
- b) klímaváltozás miatti migráció;
- c) demográfiai viszonyok alakulása.

4. Erdő- és egyéb vegetáció tüzek

5. Földrengések

6. Ipari balesetek és ipari kockázatok

- a) veszélyes ipari üzemek;
- b) veszélyes áruszállítás;
- c) nukleáris veszélyeztetés (létesítmények, tevékenységek).

Látható, hogy az erdő és egyéb vegetációs tüzek, valamint a földrengések vonatkozásában további bontást az alkotók nem szorgalmaztak, ami nem véletlen, hiszen ezek valójában egy-egy veszélyforrásként egy nagyobb csoport alkotóelemeit képezik.

A 2014. évi nemzeti katasztrófakockázat-értékelésnél figyelembe vett veszélyforrások

A nemzeti lakosságvédelmi kockázatértékelések során a következő nagy változást az okozta, hogy az Európai Bizottság a 2014-2020-as pénzügyi időszakra vonatkozó tervezésekor rendeletben [5] írta elő az éghajlat változáshoz való alkalmazkodást, és a kockázat-megelőzés előtérbe helyezését. Az Európa Unió pályázati forrásokhoz való hozzáférés biztosítása érdekében a Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság koordinálásával megújításra került hazánk nemzeti szintű kockázatértékelése (szakmai szóhasználatban: EX ANTE jelentés) [6], amely már figyelembe veszi az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodást is.

Az EX ANTE jelentés 3 csoportba bontva 12 kockázati területet azonosított, amelyhez 30 forgatókönyvet, illetve 72 db. alforgatókönyvet készítettek el, ezekkel vizsgálva az adott veszélyforrás kockázatát. Újdonságként jelent meg a korábbi nemzeti értékeléstől eltérően a kozmikus és szoláris forrásból származó veszélyforrások, valamint a szándékos emberi tevékenység okozta események kockázatainak figyelembe vétele. A forgatókönyvek közül 27 foglalkozik az adott veszélyforrás és az éghajlatváltozás kapcsolatának vizsgálatával. Az EX ANTE által használt veszélyforrás csoportosítás az alábbi:

1. Természeti kockázati terület

- a) szélsőséges időjárás;
- b) áradás;
- c) földtani kockázatok;
- d) járványok;
- e) úridőjárás.

2. Súlyos balesetek kockázati terület

- a) veszélyes anyagok;
- b) közlekedési balesetek;
- c) nukleáris baleset.

3. Szándékos események

- a) terrorizmus;
- b) kiber támadás;
- c) biztonságpolitikai válság;

d) energiaellátási válság.

A 2014. évi nemzeti kockázatértékelés végkövetkeztetése, hogy bekövetkezési valószínűségük és veszélyeztető hatásaik alapján magas prioritású kockázatként jelentkeznek hazánk tekintetében az alábbi veszélyforrások:

1. szélsőséges időjárás;
2. invazív allergén vagy mérgező növények;
3. migráció;
4. aszály;
5. súlyos viharok.

Az új magyar nemzeti kockázatértékelés⁸ már foglalkozik az úridőjárás és a kibertámadás veszélyeivel is. Az előbbi az úrkutatásban élenjáró, gazdasági és területi szempontból országunkkal össze nem mérhető nemzeteknél is létező metódus, de a hozzánk hasonló európai országok között nem ismerünk olyat, ahol ez megvalósult volna. Ehhez kapcsolódva egyfajta gyengeséget, vagy függőséget jelent, hogy hazánk nem rendelkezik olyan előrejelző, monitoring rendszerrel, amely az úrból érkező szoláris és nem szoláris eseményeket előre tudná jelezni, így ehhez külső, például Európa Unió (Európai Űrügynökség), vagy Egyesült Államoktól (Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal) származó adatszolgáltatásra van szükségünk. A kiber támadás, mint kockázati terület a jelenlegi európai biztonsági környezetben napjaink egyik aktuális kihívása, így nem véletlen, hogy megjelölésre került az értékelésben. Ezek mellett a nemzeti kockázatértékelés a bekövetkezési valószínűség kicsiny volta miatt kizárta például a Richter skála szerinti 6-os (erős földrengés) besorolás, illetve annál nagyobb skálaszámú földrengés, illetve nagyon valószínűtlennek értékelte a nukleáris baleset, illetve nagy mennyiségű toxikus anyag szabadba kerülésének kockázatát.

A kockázati forgatókönyvekben érintett kritikus infrastruktúrák elemzésének eredményei alapján az értékelés megállapította, hogy a közlekedés és energia szektor nagymértékben érintettek tekinthető, a közbiztonság és nemzetbiztonság, valamint az ipar szektor viszont kevésbé kitett a vizsgált eseménysoroknak.

A biztonságpolitikai válságok kockázatát közvetlenül, illetve az éghajlatváltozáshoz kötődő migrációra értelmezve elemezte, ami nem feltétlenül fedi le a teljes társadalmi kockázati spektrumot.

Ugyanakkor a katasztrófaveszélyek ez a fajta tipologizálás az újkori, főleg külföldi szakirodalmakkal, illetve osztályozásokkal jelentős koherenciát mutat.

Jó példa erre, hogy az Egyesült Nemzetek Szövetsége katasztrófastatisztikai oldalának⁹ osztályozási rendszeréhez hasonlóan, a természeti veszélyforrások közé sorolja be a biológiai eredetű járványokat.

Korábban a hazai szakirodalom (Nagy K, Halász L; 2002) [7] a civilizációs veszélyek közé sorolta be ezeket a járványokat, meggyőződésem, valamint láthatóan a külföldi példa szerint is tévesen. A járványok természeti osztályba történő besorolását indokolják az azokat előidéző kórokozók, amelyek vírus vagy baktérium formájában kerülnek be a szervezetbe. Ezeknek a

⁸ Lásd: Jelentés Magyarország nemzeti katasztrófakockázat-értékelési módszertanáról és annak eredményeiről [6]
⁹ EM-DAT: Emergency Events Database, az ENSZ által működtetett Veszélyhelyzeti Események Adatbázisa

mikroorganizmusoknak a kialakulása nem köthető kizárólagosan az emberhez, annak ellenére, hogy a legtöbb esetben csak más élőlényekben képesek huzamosabb ideig fennmaradni.

Az ENSZ által használt veszélyforrás osztályozás

Az ENSZ által működtetett Veszélyhelyzeti Események Adatbázisa (Emergency Events Database: EM-DAT) osztályozási rendszere alapvetően két nagycsoportból kiindulva osztályozza a veszélyforrás típusokat az alábbiak szerint¹⁰:

1. Természeti veszélyek

- a) geofizikai
 - aa) földrengés;
 - ab) földmozgás;
 - ac) vulkanikus tevékenység;
- b) meteorológiai
 - ba) extrém hőmérséklet;
 - bb) köd;
 - bc) vihar;
- c) hidrológiai
 - ca) elöntés;
 - cb) földcsuszamlás;
 - cc) hullámozgás;
- d) klimatológiai
 - da) aszály;
 - db) jeges áradás;
 - dc) erdőtüz;
- e) biológiai
 - ea) járványok;
 - eb) rovarok túlszaporodása;
 - ec) állatelhullás;
- f) földönkívüli
 - fa) becsapódás (idegen objektum, aszteroida, üstökös);
 - fb) űridőjárás.

2. Technológiai veszélyek

- a) ipari balesetek
 - aa) vegyi anyag kiszabadulása;
 - ab) összeomlás (épület, épített konstrukciók);
 - ac) robbanás;
 - ad) tűz (a természeti tüzek kivételével);
 - ae) gázszivárgás;
 - af) mérgezés;
 - ag) radiológiai;
 - ah) olajszennyezés;
 - ai) egyéb ipari balesetek;
- b) közlekedési/szállítási balesetek
 - ba) légi;
 - bb) közúti;
 - bc) vasúti;

¹⁰ Forrás: <http://www.emdat.be/classification>

- bd) vízi;
- c) egyéb technológiai balesetek.

Láthatóan, egy igen részletes osztályozást használ az ENSZ a statisztikai adatok rendszerezésére, különösen igaz ez, ha figyelembe vesszük, hogy például a természeti veszélyforrások tekintetében a leírt csoportosításokhoz további 34 alcsoportot is rendel. Az alcsoportokat jelen cikkben nem szükséges kifejteni, mivel az összehasonlító elemzéshez a rendszer fentiekben leírt bemutatása elégséges. Különösen igaz, ez, ha figyelembe vesszük, hogy az ENSZ az egész bolygónkra használható osztályozást kell, hogy használjon, azonban az általuk az alcsoportok között leírt veszélyforrás kategóriák nagy része a hazai éghajlati és földrajzi viszonyok között nem értelmezhetőek. Például trópusi, vagy extratrópusi vihar sem fordulhat elő nálunk.

Az ENSZ által leírt rendszerezés bár a technológiai címszó alatt számra veszi az ipari katasztrófákat is, azonban kihagyja a társadalmi veszélyeket.

A LAKOSSÁVÉDELEM SZEMPONTJÁBÓL RELEVÁNS VESZÉLYFORRSOK OSZTÁLYOZÁSI LEHETŐSÉGE

Az előzőekben bemutattam, hogy a lakosságvédelem szempontjából meghatározó veszélyforrások osztályozása hazánkon belül nem egységes. Külföldi mintaként az ENSZ adatbázisát hoztam fel ellenpéldaként, amely azonban nem foglalkozik társadalmi veszélyekkel.

Hazánk területén a lakosság életét és az anyagi javakat veszélyeztető hatások vizsgálatához célszerű a keletkezésük szempontjából csoportosítani a veszélyforrásokat.

Ennek figyelembe vételével, véleményem szerint a katasztrófákat az alábbi három nagy csoportba bontva célszerű vizsgálni:

1. természeti katasztrófák (hidrológiai, geológiai, meteorológiai, biológiai, földön kívüli stb.);
2. technológiai katasztrófák (ipari, nukleáris, közlekedési katasztrófák, nem természeti eredetű tüzek stb.);
3. társadalmi katasztrófák (háborúk, zavargások, terrorveszély stb.).

Magyarország természeti veszélyforrásainak lehetséges csoportosítása

Elgondolásom szerint ebbe a csoportba sorolhatóak azok a veszélyforrások, amelyek az emberi tevékenységtől, illetve annak hiányától függetlenül megjelennek. Sajátosságuk, hogy a kialakulásukat eredendően képtelenek vagyunk megakadályozni, viszont a hatásaikat tudjuk mérsékelni.

Magyarországon a természeti veszélyforrások lehetnek:

1. Hidrológiai

- a) árvíz;
- b) belvíz;
- c) limnológiai;
- d) hidrogeológiai;
- e) hidrokémiai és hidrobiológiai.

2. Meteorológiai

- a) extrém hőség;
- b) extrém hideg;

- c) szél hatásai;
- d) hidrometeorológiai veszélyek (aszály, erdő és vegetációs tüzek, valamint a felhőszakadás);
- e) zivatar, szupercella.

3. Geológiai

- a) földrengés;
- b) suvadás;
- c) roskadás;
- d) talajsüllyedés;
- e) partfal-, hegy- és kőomlások;
- f) vulkánkitörés.

4. Biológiai

- a) humán járványok;
- b) állat- és növény-egészségügyi járványok;
- c) invazív allergén vagy mérgező növények elterjedése;
- d) invazív állatfajok elszaporodása.

5. Kozmikus

- a) szoláris sugárzások;
- b) egyéb kozmikus sugárzások;
- c) aszteroidák, kisbolygók és üstökösök, valamint egyéb űrbeli mesterséges objektumokkal történő ütközés;
- d) szupernóva robbanás;
- e) fekete lyukak.

A fent leírt osztályozási javaslatom a kozmikus és biológiai eredetű veszélyeket egyaránt a természeti veszélyek közé sorolja, azon az elven, hogy megjelenésükhöz nem szükséges az ember tevőleges, vagy mulasztásos szerepe. A különböző veszélyforrásokat nem célja ennek a cikknek determinálnia, hisz a cikk az osztályozásra koncentrál. A geológiai veszélyeknél említést teszek a vulkánkitörésekről, amelynek ugyan Magyarországon kicsi a valószínűsége, hiszen a Balaton-felvidéki bazaltvulkánoknak rendszerint csak egy kitörési ciklusa van. Ugyanakkor az Alföldön a földköpeny hőmérséklet 200 °C, ami melegíti a felette lévő üledékréteget, tehát a bazaltos magma ezen a területen pár nap alatt felszínre törhetne. Ezen túl a Kárpát-medence egész területe alatt a kőzetburok vékony (kb. 70 km), így könnyen ide áramlik a Föld felső köpenyének képlékeny anyaga, ami a fedő kőzetanyag olvadásához vezethet [8].

A Kárpát-medencében területünkön kívül veszélyt jelenthet ránk még a szlovákiai Putikov vulkán, és az erdélyi Csomád [9], de természetesen bármely más vulkánkitörés is, amelynek hatásterülete elér bennünket, azonban a kitörések történelmi gyakorisági adatai alapján ez vállalható kockázat. Ugyanakkor látni kell, hogy egy-egy vulkánkitörés még messzi távlatokból is kihatással van a mindennapi életre. Példaképp említhető, hogy az Eyjafjallajökull vulkán 2010. évi kitörésekor a légiközlekedés számos országban szünetelt, illetve a mai napig nem tisztázott, hogy a vulkánkitörésnek és a Közép-Kelet-Európát ebben az időszakban sújtó hidrológiai veszélyek, nevezetesen az éves átlagot többszörösen meghaladó csapadékmennyiség között milyen összefüggések lehettek. Részletesebb megfigyelési adatok hiányában is feltételezhető, hogy a levegő halmazállapota a kilövellt és szétterülő részecskék miatt megváltozott, ezáltal más légtömegekkel való ütközéskor nem a megszokott terjedési irányok alakultak ki. Ez megmagyarázná, hogy abban az időben miért érkezett a térségünkbe olyan nagymennyiségű csapadék.

Magyarország technológiai veszélyforrásainak lehetséges csoportosítása

Ide sorolandónak látom azokat a veszélyforrásokat, amelyek az emberi tevékenységből eredően, illetve az emberi tevékenység hiányának következményeként, mulasztással jelennek meg. Sajátosságuk, hogy hatósági szabályrendszerrel a kialakulásuk megakadályozható. A technológiai veszélyforrások véleményem szerint lehetnek:

1. Ipari eredetűek

- a) mérgező, rákkeltő vegyi/biológiai, gyúlékony és robbanás veszélyes anyag szabadba jutása;
- b) nukleáris, radiológiai balesetek;
- c) levegőszennyezés;
- d) kiterjedt tüzek;
- e) tervezésből, kivitelezésből eredő balesetek.

2. Közlekedési, szállítási veszélyek

- a) földi szállítás;
- b) légi szállítás;
- c) vízi szállítás.

3. Létfontosságú rendszerek működési zavarai

- a) vízellátás;
- b) villamos energiaellátás;
- c) infokommunikációs rendszerek működési zavarai;
- d) fosszilis energiahordozók ellátási hiányai;
- e) kommunális szolgáltatók működési zavarai.

Magyarország társadalmi veszélyforrásainak lehetséges csoportosítása

A társadalmi veszélyforrásokat több szakirodalom¹¹ a technológiai veszélyforrásokkal együtt, civilizációs veszélyforrásként említi. Ugyanakkor, ha abból indulunk ki, hogy a természeti veszélyforrások esetében az emberi tevékenység irreleváns, miközben a technológiai veszélyforrások fentebb leírt csoportosításánál megállapítottuk, hogy tevőleges, vagy mulasztásos emberi tevékenységből erednek, így a cikkben használt társadalmi veszélyforrások csoport ezekről elkülönül, hiszen jellemzően az ember akaratlagos tevékenységén alapul. Tekintettel arra, hogy ártó emberi magatartás kelti ezeket a veszélyforrásokat, így a kezelésük is eltérő az előzőekben tárgyaltaktól, néha a fegyveres erő legitim alkalmazását is magával vonja. Ezen markáns különbség miatt látom indokoltnak, hogy a társadalmi kockázatok egy különálló nagy csoportot alkossanak.

Ebből a megközelítésből kiindulva, először vizsgáljuk meg, milyen társadalmi veszélyforrások azonosíthatók a jogrendszerünkben. Magyarország Alaptörvénye a lakosságot fenyegető veszélyek tekintetében hat fajta különleges jogrendi időszakot különböztet meg [12]:

1. a hadiállapot, vagy háborús veszély esetén a rendkívüli állapot;
2. a törvényes rend megdöntésére vagy a hatalom kizárólagos megszerzésére irányuló fegyveres cselekmények, továbbá az élet- és vagyonbiztonságot tömeges méretekben veszélyeztető, fegyveresen vagy felfegyverkezve elkövetett súlyos, erőszakos cselekmények esetén a szükségállapot;

¹¹ Például: Dr. Nagy, Dr. Halász; 2002 [7], Kovács A, Buzás T, 2002 [10], Hornyacsek J, 2009 [11],

3. a fegyveres támadás veszélye esetén, vagy szövetségi (NATO) kötelezettség teljesítése érdekében a megelőző védelmi helyzet;
4. terrortámadás jelentős és közvetlen veszélye vagy terrortámadás esetén terrorveszélyt;
5. a haza területére betört külső fegyveres csoport támadásának elhárításra a váratlan támadás;
6. az élet- és vagyónbiztonságot veszélyeztető elemi csapások, ipari szerencsétlenségek elhárítására, a következmények felszámolására a veszélyhelyzet.

A felsorolás alapján kitűnik egy hármas csoportosítás. A háborús, illetve fegyveres konfliktusból származó veszélyforrások köre (1), amelytől elkülönül a terrortámadás (2) veszélye, ugyanakkor megjelenik egy belső társadalmi válságot feltételező, az alkotmányos rend erőszakos megdöntésére (3) irányuló veszélyeztető tényező is. Ezt a három veszélyeztető hatást a napjainkban tapasztalt nemzetek közötti viszonyok és folyamatok alapján szükséges kiegészíteni a migrációval, illetve a kiberbiztonsági kockázatokkal. Fentiek alapján a társadalmi veszélyforrások az alábbiak:

1. belpolitikai válság;
2. migráció, menekültáradat;
3. kiberbiztonság;
4. terrorcselekmények;
5. háború, fegyveres összeütközés.

A VESZÉLYFORRÁSOK ÉS A LÉGIKÖZLEKEDÉS KAPCSOLATA

A légi közlekedés és a lakosságvédelmet érintő veszélyforrások kapcsolata igen bonyolult, és néhány esetben együttes visszahatást is mutat. Jó példa erre a természeti veszélyforrások közé sorol humánjárványok és a légi közlekedés kapcsolata. Ha egy országban súlyos járvány tör ki, (például Afrika és az EBOLA járvány), akkor természetes emberi reakció, hogy aki csak teheti, a leggyorsabban elhagyja a területet. Az utazás leggyorsabb módja a repülés, ezt külön nem kell bizonyítani, ugyanakkor a repülőre szálló fertőzött személyek a világ másik területére is transzportálhatják a betegséget, ami így gyorsabban terjed, mint azt biológiai jellemzői alapján előzetesen prognosztizálni lehet, illetve mint azt a regionális terjedési adatok alapján modellezni lehetne. Ezen kívül a légi közlekedés és a repülőgépek összpontosítják is az utasokat, ami növeli az expozíció kockázatát. A régi időkben az interkontinentális közlekedést a tengeri közlekedés biztosította. Ebben az időszakban a járványok megelőzésének egyik módja volt a hajó karantén alá helyezése, ami kiegészült a lényegesen hosszabb utazási idővel is. Napjainkban azonban az átlagos influenza vírus inkubációs¹² ideje 1–4 nap között változik, vagyis a légi közlekedés képes a betegséget azelőtt a világ másik felére elvinni a tünetek megjelenése előtt.

A humán járványok mellett a természeti veszélyforrások közül sok veszély rendszeresen előfordul, ilyen például a meteorológiai veszélyek közül a szélvihar, hóvihar, ezek minimális hatást gyakorolnak a légi közlekedésre késedelmekkel, részleges leállásokkal vagy eltérítésekkel (más repülőterre történő átirányítással) kiküszöbölhetőek. Nagyobb zivatarzónák esetében be-

¹² Inkubációs idő: a fertőzés utáni időszak a tünetek megjelenése előtt.

vett gyakorlat a légiközlekedés időleges szüneteltetése. Az áradások ezzel szemben a földi infrastruktúra kiesése miatt több napos leállást is eredményezhetnek¹³. A tektonikai mozgások ugyancsak a földi infrastruktúra működési zavarát okozhatják, amellyel adott térségben a légiközlekedés tulajdonképpen megszűnne¹⁴. Említésre került már a cikkben a vulkánkitörésekkel kapcsolatban az Eyjafjallajökull vulkán 2010-es kitörése, amikor felszabadított hamufelhő az európai és a transzatlanti légiközlekedési rendszer nagy részét egy hétig bezárta, ami több millió utas szállítását akadályozta meg. A szoláris és egyéb kozmikus eredetű sugárzások következtében kialakuló geomagnetikus események az elektronikus hálózatok, illetve a hely- és irány meghatározó rendszerek kiesésével hathatnak a légiközlekedésre. A technológiai veszélyforrások tekintetében látni kell, hogy a repülés veszélyes üzem. Balesetek bármikor előfordulhatnak emberi hibák, illetve meghibásodások miatt. A terminálok területén és közvetlen környezetében lévő ipari kockázatok¹⁵ is negatívan befolyásolhatják a légi közlekedést. A nem megfelelő tervezés, irányítás, illetve a karbantartás hiánya okozhatja az ellátó (kritikus) infrastruktúrák kiesését, amely negatívan befolyásolja a légiközlekedést. A társadalmi kockázatok közül a belpolitikai válságok, a háborúk, fegyveres konfliktusok, terrortámadások illetve a kibertámadások egyaránt növelhetik a légiközlekedés kockázatát [13] gondoljunk például arra, hogy a Maláj repülőgép 2014. évi lelövése után Kelet-Ukrajna felett a legtöbb légitársaság nem repült. A légiközlekedésben az automatizáltság folyamatosan nő, így a vezérlő és felügyeleti rendszerek is kitétek lehetnek a kibertámadások veszélyeinek, 2015-ben a varsói Chopin repülőtéren, 2017-ben Ukrajnában a Boriszil repülőterek működése ált le kibertámadás miatt.

ÖSSZEFOGLALÁS

A hazai és nemzetközi példák alapján látható, hogy a lakosságvédelem szempontjából releváns veszélyforrások csoportosításának számos változata létezik. A települési és nemzeti szintű katasztrófakockázat-értékelési eljárások sem egységesek ezen a téren, felmerül tehát az igény, a valamennyi veszélyforrást figyelembe vevő megközelítés érdekében, egy új osztályozási rendszer kialakítására. A keletkezésük szerint vizsgálva, ismertetésre került egy lehetséges osztályozási rendszer, a lakosság életére és az anyagi javak biztonságára kockázatot jelentő veszélyforrások csoportosítására, az alábbi három nagy területre bontva:

1. természeti katasztrófák (hidrológiai, geológiai, meteorológiai, biológiai, földön kívüli stb.);
2. technológiai katasztrófák (ipari, nukleáris, közlekedési katasztrófák, nem természeti eredetű tüzek stb.);
3. társadalmi katasztrófák (háborúk, zavargások, terrorveszély stb.).

A lakosságvédelem szempontjából meghatározó veszélyforrások, számos ponton jelentenek kockázatot a légiközlekedésre, illetve együttes visszahatás alapján eszkalációs hatást is kiváltanak. Erre példa a humánjárványok és a légiközlekedés kapcsolata, hiszen ezúton a járványok még a

¹³ Például: Chennai Airport, India, 2015, 2017; Taoyuan Airport, Tajvan 2016; LaGuardia Airport, USA 2012; Biratnagar Airport, Nepál 2017.

¹⁴ Például: Mexico City Airport, Mexikó, 2017; Kathmandu Airport, Nepál, 2015; Narita and Haneda airports, Japán 2011.

¹⁵ Például a repülőgép üzemanyag ellátás érdekében nagy mennyiségben tárolt, tűz és robbanásveszélyes anyagokkal kapcsolatos balesetek a repülőtéren belül,

tünetek megjelenése előtt másik kontinensre is eljuthatnak. A humán járványok mellett a bemutatott osztályozás alapján a természeti veszélyforrások közül a meteorológiai veszélyek (úgy mint szélvihar, hóvihar, zivatarok), valamint az áradások, földrengések, földmozgások, vulkánkitörések, a szoláris és egyéb kozmikus eredetű sugárzások, a technológiai veszélyforrások közül a kritikus infrastruktúrák működési zavarai, közlekedési balesetek, valamint veszélyes anyagokkal történő balesetek egyaránt kisebb, nagyobb negatív hatást fejthetnek ki a légiközlekedésre. A társadalmi veszélyekhez tartozó belpolitikai válságot, terrortámadások, háborúk és fegyveres konfliktusok mellett a kibertámadások lehetséges negatív hatása is igazolt ezen a területen.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Slabbert, N.J., "The Technologies of Peace", Harvard International Review, May 02, 2007. Online: <http://hir.harvard.edu/the-technologies-of-peace/>
- [2] Buzan, B; wæver, O; de Wilde, J.: Security, A New Framework for Analysis, London, Lynne Rienner Publisher, 1998. ISBN: 978-1-55587-603-6 Online: https://www.uni-erfurt.de/fileadmin/public-docs/Internationale_Beziehungen/BA_Einfuehrung_in_die_IB/BUZAN%20+%20WAEVER+%20WILDE_%201998_Security_CH%201+2.pdf
- [3] 234/2011. (XI. 10.) Kormányrendelet a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXXVIII. törvény végrehajtására.
- [4] Gyenes Zs. (Ph.D) szerk.: Nemzeti Katasztrófa Kockázat értékelés, 2011. BM OKF, Online: <http://vmkati.hu/KEK.pdf>
- [5] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 1303/2013/EU rendelete, (2013. december 17.) Online: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:32013R1303&qid=1516206491473&from=HU>
- [6] 1384/2014, (VII. 17.) Korm. határozat, Magyarország nemzeti katasztrófavédelemről és annak eredményeiről, 2014. Online: <http://www.katasztrofavedelem.hu/letoltes/szervezet/20140718-katasztrofakockazat-ertekelesrol-jelentes.pdf>
- [7] Dr. Nagy - Dr. Halász: Katasztrófavédelem. egyetemi jegyzet, ZMNE, Budapest, 2002. pp:13-14
- [8] Harangi Sz.: Vulkanok – A Kárpát-Pannon térség tűzhányói, GeoLitera, Szeged, 2011. ISBN:978-963-306-110-7, (P:440)
- [9] Dr. Harangi Szabolcs, MTA-ELTE Vulkanológiai Kutatócsoport, televíziós interjú, <http://videa.hu/video/ozonenetwork/emberek-vlogok/2016.-marcius-2vulkanok-itthon-es-sDJAKug6A6pLeZew>
- [10] Kovács Antal - Buzás Tibor: Polgári védelmi ismeretek alapismeretek, önkormányzatok és polgári védelmi szervezetek felkészítési segédlete, Jász-Nagykun-Szolnok Megyei Polgári Védelmi Szövetség, - Szolnok, 2002.
- [11] Dr. Hornyacsek Júlia: Polgári védelem I. ZMNE Budapest: 2009. pp.1-201. ISBN: 978-963-70-60 66-3
- [12] Magyarország Alaptörvénye, 48-54. cikk, online: http://www.njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=140968
- [13] Rodrigue, Jean-Paul, The Geography of Transport System, New York, 2017. ISSN: 978-1138669574 Online: <https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch9en/conc9en/ch9c5en.html>

**THE CLASSIFICATION OF HAZARD SOURCES RELATED TO THE POPULATION PROTECTION,
THE POSSIBLE RISKS OF THESE HAZARDS ONTO THE AIR TRANSPORT**

There are several examples of the classification of hazard sources in the available literature. They are categorized by the scientific literature, and also the national legislation. Nevertheless, the national risk assessments in 2011 and 2014 deals with various sources of hazard and are apparently inconsistent with the legal classification in the disaster assessment of settlements. The purpose of this article is to demonstrate that the current system is not equal and to suggest a possible, more transparent, and more logical classification system, and show the possible risks of these hazards onto the air transport.

Keywords: hazards, risks, risk assessment, natural, technological, social disasters,

Nagy Sándor
doktorandusz
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Műszaki Doktori Iskola
nagy.sandor1975@gmail.com
orcid.org/0000-0001-9774-8434

Sandor Nagy
PhD student
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
PhD School of Military Engineering
nagy.sandor1975@gmail.com
orcid.org/0000-0001-9774-8434



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-10-0434_Nagy_Sandor.pdf

Foroozan Zare, Árpád Veress

PRELIMINARY INTRODUCTION TO VIRTUAL PROTOTYPING OF JET ENGINE COMPONENTS BY MEANS OF AERODYNAMIC DESIGN

The goal of the present paper is to provide a short introduction about the ongoing research project in conjunction with virtual prototyping of jet engine components. Several sampling phases can be omitted by computational technology and so significant amount of cost, time and capacity can be saved. Although the steps of the presented process are performed for the components belong to different applications, it can be extended and used for certain engine and its parts also. A concentrated parameter distribution-type method has been developed and implemented to analyse the thermodynamic characteristics of a jet engine by considering the expected specification. Mass and energy balance with realistic thermodynamic conditions are applied in the analytical approach. Mean line design of the compressor and turbine unit can be performed, by which the geometrical sizes of the compressor and turbine will be the output of the method following the 3D extension of the blading. Based on the available dimensions, including the other components, the 3D model of the gas turbine can be prepared in a CAD software. Following the verification of the design, CFD analyses can help to crosscheck the differences between the expected and the computed characteristics of the engine. The results of the simulations can be compared with the available measured and/or previously calculated data for validation and verification purposes and conclusions can be drawn about the accuracy and the efficiency of the used analytical and numerical methods. Inverse design method is a preferable tool to increase static pressure rise, the mass flow rate per unit length in the vanned diffuser of the compressor unit. The results of the inverse design method can be verified by a commercial CFD code via specific test case.

Keywords: Low-sized jet engine, engine design, CAD modelling, CFD, validation

INTRODUCTION

Many leading technologies are established in the aeronautical sector, wide spectrum of research and development are in progress in that areas [1][2], in which the propulsion systems of the aircrafts are also included.

Today, the application of the gas turbine engines has increased significantly. This is especially true for the jet engines, which are the only relevant propelling systems of the high power commercial and military airplanes today. БД-7Б single spool turbojet engine from Rybinsk Motors are shown in Figure 1. Additionally, the gas turbines are utilized also in the other sectors as oil and gas in energy production. In spite of the fact that those engines in comparison with piston ones don't have similar level of thermal efficiency, they have substantial advantages in powerfulness, power density (power of the engine/mass of the engine), compactness, streamlining, simplicity and low maintenance cost demand.

These engines are less sensitive for the overloads; they produce less vibration due to the well balanceable and rather axisymmetric rotational components. The gas turbines have high availability (97%) and reliability (> 99%), they have low emission (there is no lubricant in the combustion chamber and no soot during transient loads) they contain less moving parts and represent less sensitivity for the quality of the fuel compared to the piston engines. Additionally,

there is no need for liquid-based cooling system, but the maximum allowable temperature (~ 1500 °C) at the turbine inlet section must be limited due to the metallurgical reasons.

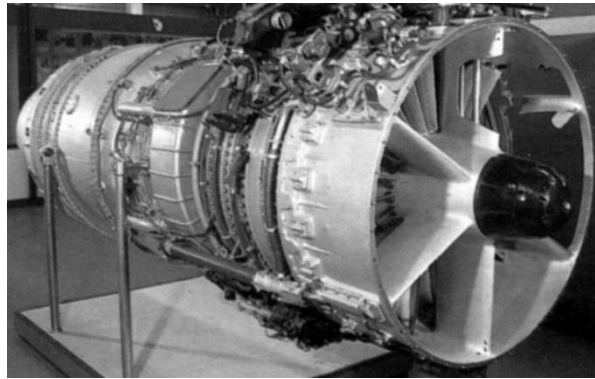


Figure 1. Photo of the ВД-7Б single spool turbojet engine from Rybinsk Motors, Russia [3]

Beside the technical characteristics of the gas turbines and its components today, certain amounts of potentials are available for improving their efficiencies, performances and emissions over the wider range of operational conditions [4][5]. Although the experiences and the know-how of the gas turbine manufacturers increasing continuously, the different mathematical models with using of optimum choice and form of the most dominant processes can significantly contribute to decrease the cost, time and capacity in the early phase of gas turbine design and developments. The main goal of the present ongoing research is to introduce a design procedure and analysis of a jet engine and its components by means of virtual prototyping.

DEVELOPMENTS OF A CONCENTRATED PARAMETER-DISTRIBUTION TYPE METHOD

A thermodynamic model has been developed and implemented in MATLAB environment for determining the main characteristics of single spool, dual spool turbofan, and triple spool turbojet engines w/wo afterburner at start position. The mass, energy balance and the real thermodynamical processes are used in the concentrated parameter distributions type model. Ambient conditions, incoming air mass flow rate, pressure ratio of the compressor, turbine inlet total temperature, the length and diameter of the engine is used as available input parameters of the analyses. The material properties as specific heats and the ratio of the specific heats are depends on the temperature and component mass fraction and so they are determined by iteration cycles. Mechanical, isentropic and burning efficiencies, pressure losses, the bleed air ratio for technological reasons, air ratio for blade cooling, fan and intermediate compressor pressure ratios (if they are the cases), the afterburner temperature and power reduction rate of the auxiliary systems are involved as unknown parameters in the specifications. Hence, nonlinear constraint optimization is applied for determining the mentioned values by means of fitting the calculated thrust and thrust specific fuel consumption to the known parameters, which are available in the technical documents. The results of the optimization show that available and the resulted thrusts and thrust specific fuel consumptions are close to each other, the differences between them are below 5% as it is shown in the Table 1 for the engines ВД-7 and РД-9Б for example. The thermodynamic cycle of the specific engines can be plotted in T-s diagram (see Figure 2 for the ВД-7 engine). The processes between the engine-states denoted by numbers are plotted by

black lines. This visualization effect is the reason of the constant pressure line goes below the process line in case of pressure decrement just after section “3”.

Type of turbojet engines	Available technical data for the verification (at start position)		Resulted parameters of the goal function by the optimization (at start position)		Relative errors	
	T [kN]	TSFC [kg. kN ⁻¹ h ⁻¹]	T [kN]	TSFC [kg. kN ⁻¹ h ⁻¹]	T [%]	TSFC [%]
single spool engine (BД-7)	107.8	82	103.09	84.3	3.6	2.8
single spool engine (PД-9Б) with afterburner	32.4	163	33.5	166	3.3	1.84

Table 1. Comparisons of available data with the results of optimisation in case of single spool turbojet engines

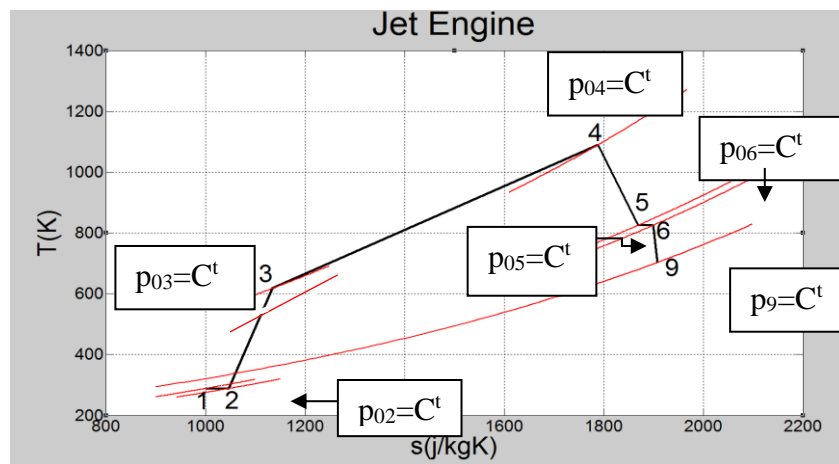


Figure 2. Thermodynamic cycle of the BД-7 turbojet engine

MEAN LINE DESIGN OF JET ENGINE

Following the determination of the main geometrical sizes, the mean line design of the compressor and the turbine can be completed. The equations considered here are based on the common thermodynamic and aerodynamic principles in a mean stream path.

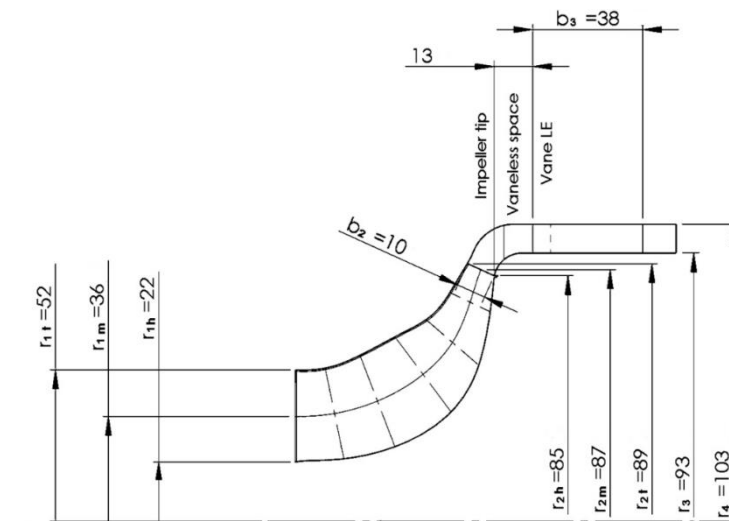


Figure 3. Meridional view of a compressor rotor

The output of the process is the type and the stages of the compressor and turbine units, if any, and the velocity triangles. The 3D model of the assembly can be prepared after the determination of the blade numbers and the design of the profiles with including the effect of real 3D flow conditions by means of blade twisting in case of need. Figure 3 shows a meridional view of a centrifugal compressor as one of the preliminary result of the design.

CFD MODELLING AND ANALYSES

CFD analysis can be applied to determine the correlation level between the expected and simulation provided parameters. ANSYS CFX program can be used for that purpose and the Reynolds averaged Navier-Stokes equation are considered to be solved numerically in the commercial software by finite volume method. The SST turbulence modelling can be applied following the Boussinesq approximation. A quarter model of a preliminary 3D jet engine flow field is found in Figure 4.

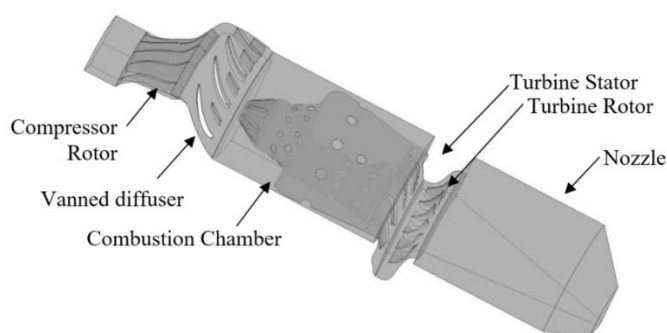


Figure 4. Assembly of a research jet engine

Although a full gas turbine section is presented in Figure 4, a preliminary CFD analysis of a centrifugal compressor has been completed within the framework of the present paper. The qualitative results are plotted at 80% RPM and 0.8 kg/s mass flow rate and they are shown in Figure 5. The output of the simulation is compared to the analytically calculated parameters in [6] for verification.

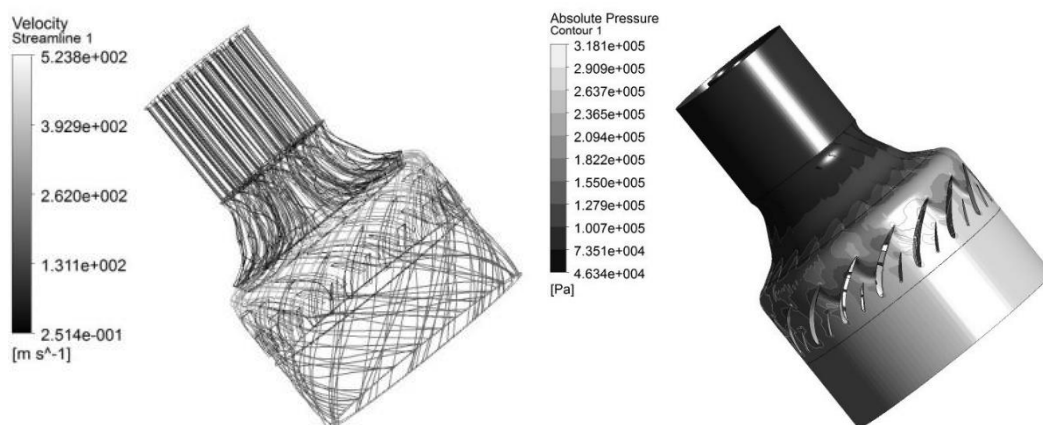


Figure 5. Streamlines (are coloured by the velocity magnitude) (left) and absolute static pressure distribution (right) in the centrifugal compressor unit at 80% rotational speed and at 0.8 kg/s mass flow rate

The compressor map is determined at three RPMs as 60%, 70% and 80% of design speed and at 3 mass flow rates. The quantitative simulation results together with the previously, analytically calculated ones in [6] are shown in Figure 6. The plausibility check of the simulation provides acceptable differences between the two approaches; the average deviation between the two results is less than 5%.

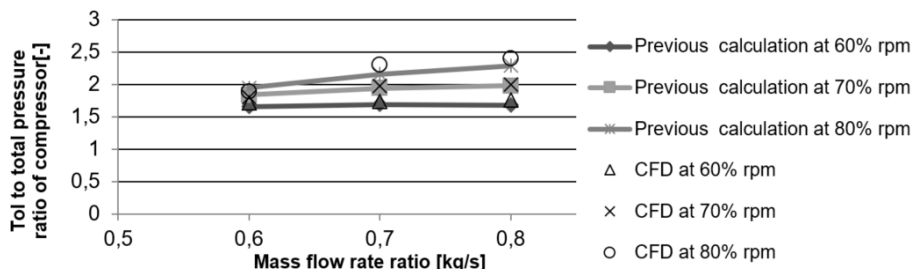


Figure 6. Comparison of CFD simulation and the analytical calculation results in the compressor map

The exact value of total pressure ratio in case of the previously calculated [6] and CFD results are also presented in Table 2.

	Mass flow rate [kg/s]			Results of the analytical calculation for the total pressure ratio [-]			CFD results for total pressure ratio [-]		
	0.6	0.7	0.8	1.66	1.69	1.69	1.72	1.74	1.76
60%	0.6	0.7	0.8	1.66	1.69	1.69	1.72	1.74	1.76
70%	0.6	0.7	0.8	1.84	1.94	1.99	1.8	1.98	2
80%	0.6	0.7	0.8	1.96	2.16	2.29	1.89	2.3	2.4

Table 2. Compressor characteristics at the investigated range

APPLICATION OF THE INVERSE DESIGN METHOD

The inverse design method can be implemented and applied for increasing the static pressure ratio of the vanned diffuser. Compressible Euler equations are considered in the presently used inverse design code and a finite volume method has been applied to solve the system of the nonlinear partial differential equation numerically.

The basic operation principle of the inverse design process is the following. Initial geometry and expected (optimal) pressure or velocity distribution over the profile should be available. The iterative cycle starts with the direct solution of an inviscid CFD solver in the present case. Completing the convergence criteria, a new boundary condition is imposed at the solid boundary to be optimized, by which the wall become locally opening as inlet or outlet, depends upon the evolved pressure distribution between the boundary and computational domain. The outcome of this analysis is a velocity distribution along the wall, which is not necessarily parallel with it. The final step of the cycle is the wall modification. The wall becomes parallel with the local velocity vector corresponds to a new streamline of the flow field. The mentioned procedure is repeated until the target distribution is reached by the direct analysis and so the new geometry is available.

Before the application of the inverse design method, plausibility analyses were completed in order to verify the correct operation and the accuracy of the method. NACA 65-410 profile has

been adopted for constructing a 2D cascade and for providing initial geometry. Stratford's separation prediction method with constrained Sequential Quadratic Programming was used to determine the optimum pressure distribution at given boundary conditions along the suction side. The optimum pressure distribution was imposed in the inverse design mode of the solver for evolution of the corresponding contour belongs to that required pressure distribution. Following the determination of the expected profile with the flow field, the results were compared with the outcomes of the ANSYS CFX in inviscid and viscous mode also at the same geometry, mesh, boundary conditions, material properties and physical settings. Figure 7 provides information about the results of the in-house program and the CFX software. The pressure distribution around the blade profile shows around 7% average deviation between the two results.

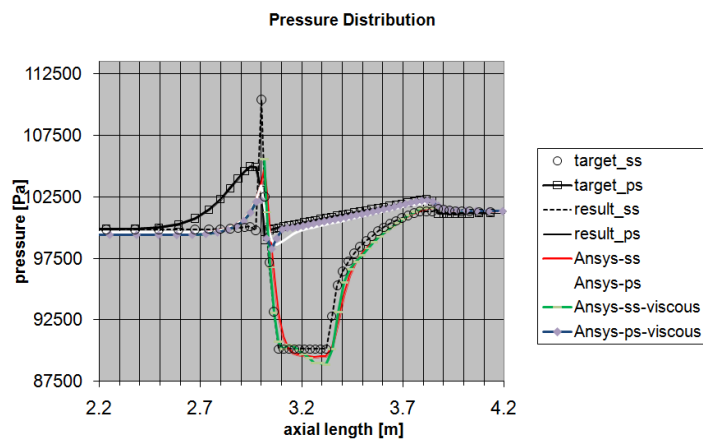


Figure 7: Pressure distribution of the redesigned blade configuration

CONCLUSIONS

An outline about the main steps of a design process of jet engine with analysis is briefly introduced in the present paper. Although the procedure can be used for the components belong to different applications, it can also be applied after specific adaption to certain engine and its parts.

The thermodynamic variables of the engine can be determined by a concentrated parameter distribution-type method based on the predefined design specification. Mass and energy balance with real thermodynamic processes were considered in the analytical model.

Mean line design of the jet engine can be completed with considering the available thermodynamic results. Following the consideration of the 3D realistic flow conditions, the outputs of the present design can be used to determine the dimensions of the engine.

Based on the available dimensions, the 3D model of the gas turbine can be prepared in CAD software. CFD analyses can be completed to verify the differences between the expected and the computed performances.

Inverse design method can implemented in order to increase pressure rise in the vanned diffuser of the compressor unit. The results of the inverse design method have been verified by a commercial CFD code via a specific test case.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by Hungarian national EFOP-3.6.1-16-2016-00014 project titled by "Investigation and development of the disruptive technologies for e-mobility and their integration into the engineering education".

REFERENCES

- [1] Gáti, B. - Drouin, A.: Open Source Autopilot for Academic Research – The Paparazzi System, Proceedings of the American Control Conference, Washington DC: AACC International, pp. 1-6. ISBN: 978-1-4799-0175-3, 2013
- [2] Voskuilj, M. - Rohács, D. - Rohács, J. - Schoustra, R. J.: Preliminary Evaluation of the Environmental Impact related to Aircraft Take-off and Landings supported with Ground Based (MAGLEV) Power, Journal of Aerospace Operations, vol. 2, no. 3-4, pp. 161-180. DOI: 10.3233/AOP-140040
- [3] Shustov, I. G.: Dvigateli, 1944-2000: Aviatsionnye, Raketnye, Morskie, Promyshlennye, pp.: 165, Moskva: AKS-Konversalt, ISBN: 5900954048 9785900954042, 2000.
- [4] Beneda, K.: Preliminary Results of Active Centrifugal Compressor Surge Control Using Variable Inducer Shroud Bleed, Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 39 (2), pp. 49-54. 2011, DOI: 10.3311/pp.tr.2011-2.01
- [5] Beneda, K.: Numerical simulation of MEMS-Based Blade Load Distribution Control in Centrifugal Compressor Surge Suppression, AIP Conference Proceedings, 1493, pp. 116-123, 2012, DOI: 10.1063/1.4765479
- [6] Beneda, K.: Épülő gázturbinás sugárhajtómű üzemi jellemzőinek vizsgálata matematikai modell segítségével, MSc thesis, BME, Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles, (<http://marert.fw.hu/tsz21/tkt-1.htm>, 29.11.2015.), 2006.

SUGÁRHAJTÓMŰ-RÉSZEGYSÉGEK AERODINAMIKAI ALAPÚ TERVEZÉSÉNEK ÉS VIRTUÁLIS PROTOTÍPUS GYÁRTÁSÁNAK ELŐZETES BEMUTATÁSA

A jelen publikáció célja, hogy a virtuális prototípus gyártás kutatási témakör keretében betekintést nyújtson a sugárhajtóművek tervezésének és fejlesztésének főbb lépéseibe. A virtuális prototípus gyártás egyik legfontosabb előnye az, hogy alkalmazásával számos mintafázis elkészítése és valós körülmények közötti tesztelése váltható ki, melynek köszönhetően jelenős költség, kapacitás és idő takarítható meg. A bemutatott munka elsősorban az egyes lépések rövid ismertetésére koncentrálódik függetlenül az egymásra épülő számszerű adatoktól. A módszer kiterjeszhető és alkalmazható eltérő üzemiállapotokkal és részegységekkel rendelkező gázturbinák esetén is. Koncentrált paramétereloszlású eljárást dolgozunk ki és implementáltunk MATLAB környezetben a sugárhajtóművek termodinamikai vizsgálatának és fejlesztésének érdekében. A módszer a tömeg- és az energia-megmaradás elvére épül a súrlódásos folyamatok, valamint az anyagtulajdonságok hőmérséklet-, és összetétel-függésének figyelembevétele mellett. Az elvárt tervezési specifikációk alapján kiszámított paramétereket a tervezés következő fázisaiban használhatók fel. A kompresszor és a turbina geometriai méreteinek meghatározása érdekében az áramlás középvonalán érvényes tervezési lépéseket kell végrehajtani. A 3D-s kiterjesztést követően a rendelkezésre álló dimenziók segítségével elkészíthetővé válik a hajtómű CAD modellje. A tervezés eredményeinek plauzibilitás-vizsgálata után CFD számítások segítségével ellenőrizhetők az elvárt és a kialakult tervezési specifikációk közötti különbségek. A validáció és verifikáció érdekében a CFD számítások eredményei összehasonlíthatók a rendelkezésre álló korábbi számítási, illetve mérési eredményekkel, melynek köszönhetően megállapítható az alkalmazott analitikus és numerikus módszer pontossága és hatékonysága. Inverz tervezési módszer implementálását követően lehetőség nyílik a kompresszor egység lapátos diffúzorában kialakult statikus nyomás, az egységnyi hosszban figyelembe vett tömegáram és az axiális irányú áramláseltérítés további növelésére. Az inverz tervezési módszer alkalmazásának verifikációját egy kereskedelmi CFD szoftver segítségével végeztük el egy adott teszt esetre vonatkozóan.

Kulcsszavak: kis-gázturbiná, sugárhajtómű, hajtóműtervezés, CAD modell-készítés, CFD, validáció

Zare Foroozan
PhD hallgató
Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék

fzare@vrht.bme.hu
orcid.org/0000-0002-5486-5881

Zare Foroozan
PhD Student
Budapest University of Technology and Economics
Faculty of Transporting Engineering and Vehicle
Engineering
Department of Aeronautical, Naval Architecture and
Railway Vehicles
fzare@vrht.bme.hu
orcid.org/0000-0002-5486-5881

Dr. Veress Árpád
egyetemi docens
Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék

averess@vrht.bme.hu
orcid.org/0000-0002-1983-2494

Dr. Veress Árpád
Associate Professor
Budapest University of Technology and Economics
Faculty of Transporting Engineering and Vehicle
Engineering
Department of Aeronautical, Naval Architecture and
Railway Vehicles
averess@vrht.bme.hu
orcid.org/0000-0002-1983-2494



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-11-0435_Foroozan_Zare-Veress_Arpad.pdf

Bicsák György

HIBRID HAJTÁSLÁNC CAL RENDELKEZŐ PILÓTANÉLKÜLI TEHERSZÁLLÍTÓ LÉGIJÁRMŰ KÖVETELMÉNYRENDSZERÉNEK FELÉPÍTÉSE

Jelenleg a repülőipar különböző szegmenseinek egyik leggyorsabban fejlődő ága a pilóta nélküli repülőgépek fejlesztése, alkalmazásának kiterjesztése. Bár kezdetben a hadiipar adta meg a kezdő lökést és jelenti továbbra is az igazi húzóerőt, a pilóta nélküli járműveknek, a polgári célú felhasználásuk – a megfelelő jogi környezet és szabályzás okozta kezdeti hiányosságok ellenére – mára már egyre több területet foglal magába. Ezek egyike, a cargo célú felhasználásuk, specifikus célokra. Az árumozgatás a globalizáció exponenciális növekedésével, az online áruházak mind szélesebb körben történő elterjedésével, a lényegesen rövidebb áruszállítási időtartamok elvárása, fokozatosan túlnő a hagyományos (közúti, vasúti, vízi és hagyományos légi) áruszállítási módok lehetőségein, ezért új technológiák bevezetésére van szüksége. A „Disruptív technológiák kutatás-fejlesztése az e-mobility területén és integrálásuk a mérnökképzésbe” pályázattal egyetértésben, jelen cikk egy olyan pilóta nélküli, hibrid hajtáslánccal rendelkező teherszállító légi jármű koncepcióját és a szükséges feltétel/követelményrendszerét mutatja be, mely képes az áruszállítás támasztotta körülményeknek megfelelni mind hasznos teher, mind hatótáv szempontjából, ugyanakkor a jelenlegi technológiákhoz képest jóval kisebb környezeti terheléssel és jobb üzemeltetési jellemzőkkel rendelkezik.

Kulcsszavak: hibrid hajtás, pilóta nélküli repülőgép, UAV, cargo repülőgép

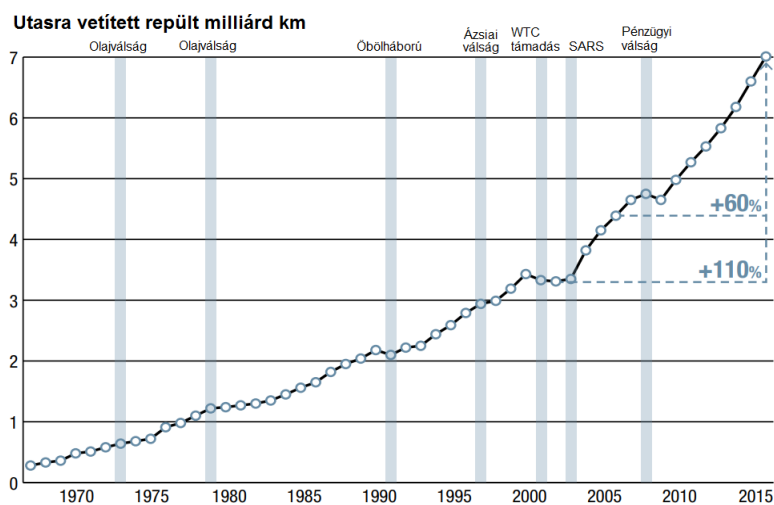
Bevezetés

A globalizáció növekedésével az egyik kulcskérdés egy adott térség fejlettségére vonatkozóan repülőiparának fejlettsége, illetve légiforgalmának nagysága. Ez viszonylag megkérdőjelezhetetlen, hiszen két, egymástól távol lévő földrajzi pont között utazásnak vitathatatlanul a leggyorsabb módja a légiszállítás. A polgári és kereskedelmi repülések mennyisége egyértelmű kapcsolatban van az adott térség GDP-jének változásával, így annak bármilyen irányú módosulása közvetlen hatással lesz a térségben lévő gazdasági szereplők gazdasági mutatóira. Az EU és USA számára mindig is kardinális kérdés volt a légiforgalom stabilitásának biztosítása, ami jelenleg is monoton növekedést mutat e piacokon. Ez, ha nem is kiemelkedő, de mindenképpen akkora, hogy itt a légtérkihasználtság lassan már kezdi felülről korlátossá tenni a kapacitást [1].

A légiforgalom nagyjából 15 évente duplázódik meg, természetesen ezzel együtt fejlesztve a résztvevő országok teljesítőképességét. A jelenleg előre jelzett növekedések miatt a polgári repülésben várhatóan nagyjából ~34 000 új repülőgépre lesz szükség [2], továbbá a meglévő utaszállító flották közel 40%-át kell majd lecserélni. A cargo forgalom esetében várhatóan ~730 új gépre lesz szükség és a meglévő flották 60%-át kell lecserélni [3].

Az elkövetkezendő évtizedek legnagyobb növekedését várhatóan a távol keleti országokban bekövetkező fejlesztések fogják indukálni. A már most is jelentős légiforgalommal rendelkező Kína fejlődése várhatóan 2030-ra a legnagyobb lesz, szoroson nyomában Indiával, illetve az ázsiai és óceániai régióval. Egyébként ezek együttesen már most is a légi utasforgalom közel

felét adják. A teljes piacot tekintve, a légiforgalom ~60%-kal emelkedett az utóbbi 10 évben, ami a 2001. szeptember 11-ei forgalomnak már több, mint duplája. [1]



1. ábra Utasra vetített repült távolságok alakulása 1970-től napjainkig [3]

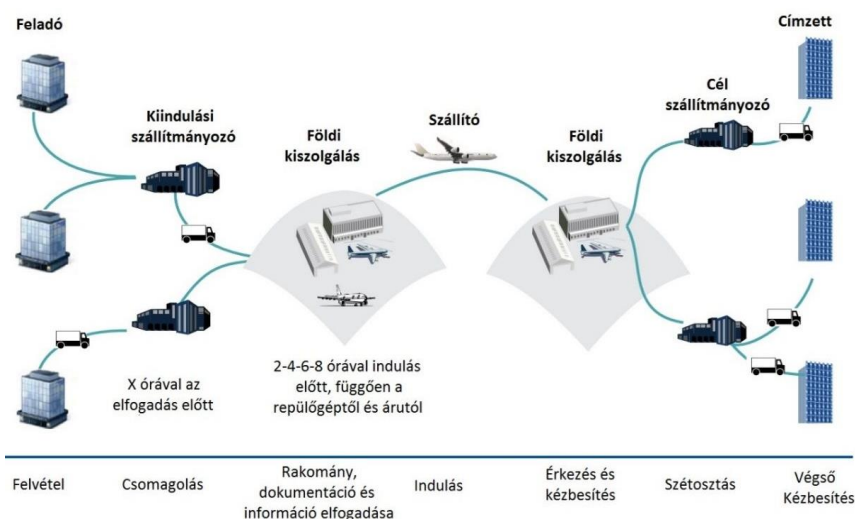
LÉGI SZÁLLÍTMÁNYOZÁS SZEGMENS SAJÁTOSSÁGAI, VÁRHATÓ ALAKULÁSA

A légi szállítmányozás (cargo) más jellemzőkkel bír, mint az utasforgalom alakulása, ebből adódóan – bár igen szoros összefüggés fedezhető fel a két légi forgalmi módozat változása között – nem vonható le egyenesági következtetés egyikből a másik alakulására.

A szállítmányozási láncok, a szállítmányok származási helyétől a rendeltetési helyre történő eljuttatási folyamatok, gyakran összetettek, és számos szabályozási követelménynek vannak kitéve, különösen akkor, ha nemzetközi szállítást és légifuvarozást tartalmaznak. A légi cargo fizikai jellemzőit tekintve diverzív folyamat. Kiindulási helye bárhol lehet a világon, általában az áruk/javak eladójától a vásárlóig, vagy a feladótól a címzettig történő szállítási folyamatot takarja. A szállítás objektuma lehet személyes tárgytól, ajándékoktól, adományoktól kezdve termékmintákon át akár élő állatok vagy veszélyes anyagok, így mindegyikre külön követelményrendszer áll össze. A szállítás alacsony kockázatúnak tekinthető pl. egy ismert forrásból származó rendszeres küldemény esetén egy viszonylag biztonságos régióban, de nagy kockázatúnak, amennyiben az ismeretlen forrásból származó szokatlanabb szállítmány, amely még rendellenességeket is mutat, vagy a különböző országok hírszerzései megfigyelése alatt áll.

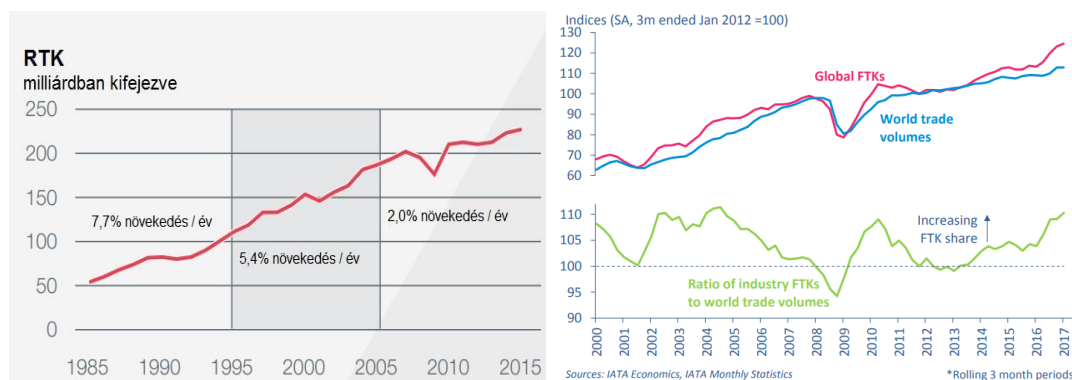
A rakományt a szállítmányozási lánc mentén számos különböző felelősségű szervezet veszi át, beleértve a légi jármű-üzemeltetőket, az expressz fuvarozókat, a postai szolgáltatókat, a szabályozott ügynököket, a feladókat, a címzetteket, a fuvarozókat és a földi kiszolgáltatókat (2. ábra). További komplikációként ezeket az entitásokat gyakran különböző nevek alapján ismerik államonként vagy régióként. A rakományt több különböző légi járat által is szállíthatja, mielőtt eléri a rendeltetési helyét, és a szállítmányokat a jogi és kereskedelmi keretekkel összhangban számos eljárás és dokumentum-feltételnek vetik alá [5].

Mindezek következtében a rakomány mozgatása gyakran (túl)komplikált, és felelőségén az összes résztvevő osztozik, különös tekintettel annak a biztosításáról, hogy a rakomány semmi esetben se veszélyeztesse a repülőgépet, vagy a rajta utazók biztonságát, életét.



2. ábra Légi áruszállítás folyamatának bemutatása [4]

Ahogy azt a 3. ábra is mutatja, légi cargo forgalom a gazdasági világválság óta jóval kisebb lendülettel növekszik, mint azelőtt. A 2009-es válság következményeként egy erős visszaesés következett be a forgalomban, ami csak 2010-ben kezdett el növekvő tendenciát mutatni. A válság ideje alatt a visszaesés elérte a 12,9%-ot is. A 2011 és 2012-es stagnálást követően csak 2013 közepén kezdett el újra emelkedni, 2014-re elérve a 4,8%-os növekedési arányt. Bár 2016 után a növekedés ismét erősödött, a prognosztizált forgalom emelkedés továbbra sem fog viszatérni az egy-két évtizeddel ezelőtti szintekre. Ugyanakkor, tekintetbe véve a meglévő cargo flották nagyságát, a repülőgépek abszolút értékére tekintve a lassabb mértékű növekedés még így is nagyobb számokat eredményez.



3. ábra Bal oldal: A Cargo légiforgalom növekedésének bemutatása 1985-től 2015-ig [4]; Jobb oldal: A Cargo légiforgalom teljesítménymutatója 2007 július és 2017 július között [5]

Ahogy a trendek is mutatják, a cargo légiforgalom alakulása – bár rendelkezik közös pontokkal a személyszállító légitársaságokkal – jelentős eltéréseket mutat sajátos felépítéséből, működési rendjéből, és a rá vonatkozó különböző előírásokból adódóan. A legfontosabb driver-ei sem egyeznek feltétlenül a személyi légitársaságokkal, így például számottevő hatással lehet az új termék bevezetése, vásárlási szokások megváltozása, online vásárlási lehetőségek elterjedése, regionális infrastruktúra, piaci szegmensek változásai stb.

Az igények kielégítésére napjainkban jellemzően 3 különböző konstrukciós kialakítású repülőgépet alkalmaznak: a széles- és keskenytörzsűeket, valamint a jellemzően turbópropellereseket (kiszolgáló/terítő feladattal). Természetesen akadnak speciális igényeket kielégítő típusok is, mint az Airbus Beluga vagy az Antonov An-124/225. Jelenleg szolgáló flotta jelentős részét eredetileg személyszállító légijárműnek tervezték, és kisebb-nagyobb módosítások árán konvertálták azokat cargo-vá. Utóbbiak jellemzően öregebbek, tüzelőanyag fogyasztásuk magasabb, így esetenként karbantartásuk, üzemeltetésük is drágább, mint amennyi hasznot hoznak. A szélestörzsű repülőgépekkel szállítható hasznos teher tömege 35–110 t. A jelenleg használt legjellemzőbb típusokat a 4. ábra mutatja.



4. ábra Napjainkban használt cargo repülőgép típusok [7]

Ahogy az mind a 2., mind 4. ábrákon látható, a légiszállítmányozás jelenleg elsősorban a transzatlanti, vagy nagy távolságú desztinációkra használatos. Mind a járműpark, mind pedig a kialakult modellek főleg a távolsági (>300 km) útvonalak megtételét célszerűsítik légi úton, viszont a szétosztás, kézbesítés már jellemzően közúti szállítmányozással történik. Ez utóbbi még érthető is, hiszen a végső házhozszállítást légi úton megoldani több nehézségbe is ütközik – ahogy ezt a következő fejezetben be is mutatom. A 300 km alatti szétosztás (repülőterek és logisztikai központok között) pedig jellemzően az alkalmas járműállomány hiányában használja a konvencionális módszereket [8]. Cikkem célja e szegmens újragondolása, olyan pilótanélküli járművek alkalmazásával, melyek hatótávolsága maximum 300 km, kisebb hasznos teher, pl. egy-egy konténernyi áru elszállítását teszik lehetővé.

PILÓTANÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK ÉS A LÉGI-SZÁLLÍTMÁNYOZÁS KAPCSOLATA

A napjainkig alkalmazott cargo UAV¹-k általában kisméretűek, 5–15 kg össztömegűek. Jelen-tős részük ráadásul csak prototípus, sorozatgyártásuk nem indult el, egyrészt a felvevő piacnál egyelőre nem feltétlen van meg a szükséges kereslet rájuk, másfelől (talán még nyomosabban) a meglévő törvények továbbra is ingoványos talajként kezelik a pilóta nélküli repülőgépek hasz-nálatát. Bár koncepciószinten minden gyártó a lehető legegyszerűbb üzemeltetési körülmények megteremtésére törekszik, a tapasztalatok azt mutatják, hogy folytonosan szükség van az ő szakértelmükre, az általános üzemeltetés, karbantartás, és főleg a hibakeresés során, mivel az üzemeltető részéről hiányzik az ehhez szükséges technológiai háttér. Így az UAV-k használata előtt részletes elméleti és gyakorlati képzés szükséges az alkalmazó, működtető személyzet számára, melyben a technikai és biztonsági információk kerülnek átadására. A polgári felhasz-nálásban alapvetően három konstrukció terjedt el a cargo UAV-k körében: a merevszárnyas, a multi-rotor és a hibrid repülőgép, melyeket az 7. ábra szemléltet.



5. ábra Merevszárnya (balra); multi-rotor (középen) és hibrid (jobbra) cargo UAV repülőgépek [6]

Jellemzően 3 konstrukció közül azt választja ki a leendő üzemeltető, amelyik az optimális (vagy legalább a leginkább megfelelő) paraméterekkel bír a célfeladata ellátásához. Az UAV üzemeltetőjének mérlegelnie kell:

- a környezeti, földrajzi jellemzőket;
- a repülőterek, fel- és leszállópályák/helyek sajátosságait;
- a szabályozási körülményeket;
- a cég sajátosságait, speciális igényeit;
- a kapcsolódó direkt és indirekt üzemeltetési költségeket;
- a rendelkezésre álló infrastruktúrát;
- egyéb, az üzemeltetést befolyásoló tényezőket.

Függetlenül a konstrukció kialakításuktól, az UAV-k egyik legfontosabb feladata, hogy pilóta nélkül képesek legyenek előre meghatározott repülési útvonalakat végigrepülni elsősorban GPS alapú navigációval. Az út során felmerülő akadályok – vagy éppen a többi repülő objektum – kikerülésére beépített szenzorok segítségével ütközésgátló és kommunikációs rendszerekkel kell felszerelni azokat. Ugyanakkor egyes típusoknál lehetővé kell tenni, hogy egy pilóta, operátor, távoli eléréssel felül tudja bírálni, módosítani tudja az előre meghatározott repülési útvonalat. Ezen alapfeladatokat az

¹ UAV (Unmanned Aerial Vehicle) pilóta (vagy személyzet-) nélküli légi jármű

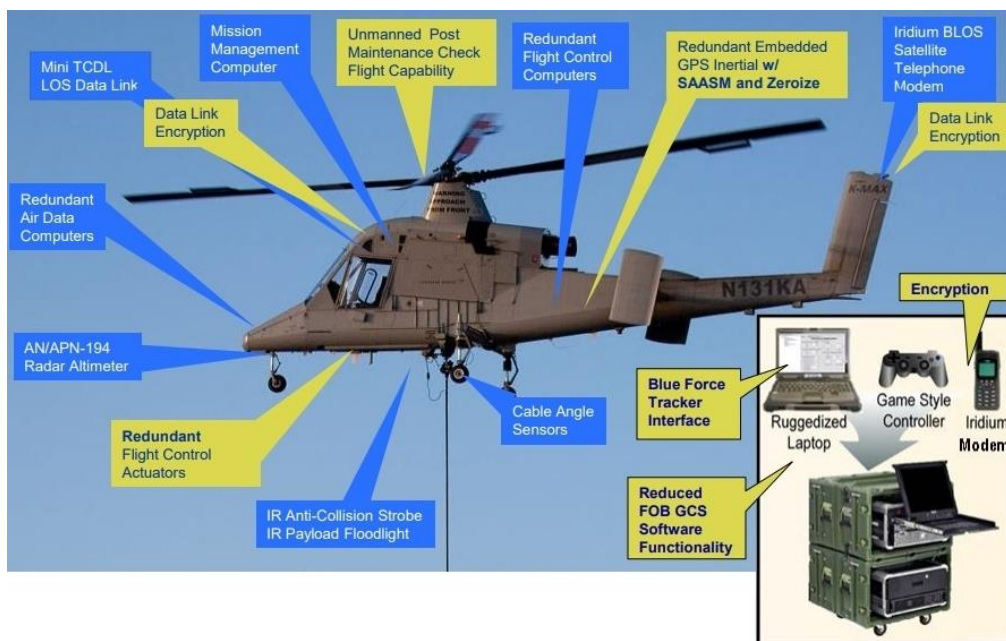
egyres típusok a konstrukciók sajátosságaiból adódóan különböző hatásokkal képesek ellátani. A három változat fontosabb jellemzői az 1. táblázat segítségével vethetőek össze.

	Merevszárnyas	Multi-rotor	Hibrid
Hatótáv	60 km	20 km	80 km
Hasznos teher	5 kg	2 kg	5 kg
Indítás módja	Katapult	Függőleges felszállás	Függőleges felszállás
Előnyök	<ul style="list-style-type: none"> Hosszabb hatótáv Jobb hatásfok Több hasznos teher, mint multi-rotor esetén Stabilabb repülés Megalapozott koncepciók a hagyományos repülőgépekből következően 	<ul style="list-style-type: none"> Manőverezés kis területen Függőleges fel- és leszállás Olcsóság 2 propellerrel már repképes 	<ul style="list-style-type: none"> Függőleges fel- és leszállás, mégis hasonló hatótáv, mint a merevszárnyas konstrukciónál Több lehetőség a fel- és leszállás során Nagyobb teherbírás, mint a multi-rotor esetén Könnyebb vészhelyzeti leszállás
Hátrányok	<ul style="list-style-type: none"> Nagy helyigény fel- és leszálláshoz Limitált manőverező-képesség kis területen Vészhelyzeti landolást nehezebb kivitelezni 	<ul style="list-style-type: none"> Alacsony hasznos teherbíró képesség Általában komplexebb tervezés (szoftver miatt), bonyolultabb karbantartási feladatok Limitált hatótáv Bizonyos feladatokra alkalmatlan 	<ul style="list-style-type: none"> Drágább Alacsonyabb manőverező-képesség, mint multi-rotor esetében Rövidebb hatótáv, mint merevszárnyú esetében
Gyártók	Zipline Wings for Aid UAVaid	Matternet Flirtey Microdrones	Amazon Google DHL Drones for Development – Dr. One. Quantum Systems Vayu
Felhasználók	Ruanda kormánya MOAS	MSF Világbank UNICEF Svájci posta	MSF (tervezett) We Robotics (tervezett)

1. táblázat Különböző UAV konstrukciók előnyei és hátrányainak összefoglalása [9]

Az általam prognosztizált konstrukcióhoz viszont szinte minden dimenziójában a bemutatott verzióknál nagyobb teljesítmény szükséges. E terület ugyanakkor a polgári repülésben még nem igazán elterjedt, a katonai alkalmazások pedig még többségében titkosítottak.

A kívánt hatótáv és hasznos teher eléréséhez elsősorban a helikopterek, illetve konvertiplánok a legalkalmasabbak. Az egyik elérhető koncepció e területen a Kaman Aerospace és Lockheed Martin közös prototípusa, a K-MAX (6. ábra). E légi jármű tervezett repülési sebessége csak 150–185 km/h, viszont hatótávolsága akár 500 km-t is eléri. A saját tartályában lévő üzemanyaggal 2,5 óra a repülési ideje, míg póttartállyal ez akár 12 órára is növelhető. Teherbírása ~2700 kg, míg össztömege 5450 kg. Repülési magassága eléri a 15 000 lábat, vagyis 4572 m-t [10].



6. ábra A Kaman Aerospace és Lockheed Martin K-MAX koncepciója közepes hatótávú, nagy teherbírású, pilóta nélküli UAV-re [10]

A konvertiplánok közül a Boeing V-22-ese sokkal nagyobb teljesítményű, mint az általunk meghatározott, az AgustaWestland AW609-es rendelkezik hasonló paraméterekkel, viszont ez a repülőgép teljesen eltérő feladatra készült. A jóval korábbi Bell XV-15, AgustaWestland Project Zero, IAI Panther mind kisebb teherbírásúak, mint ami az elérendő cél lenne [11].

A HIBRID HAJTÁS ALAPJAI

A hibridizáció mértéke alapján az alábbi 3 csoport különböztethető meg egymástól:

1. Teljesen hibrid elektromos járművek

Azok a hibrid-elektromos járműveket sorolhatóak ebbe a kategóriába, melyek függetlenül és kombinálva is képesek elektromos és belső égésre támaszkodó hajtásrendszereiket használni és mindkettővel jelentős teljesítményeket leadni vagy távokat megtenni [12].

2. Támogatottan hibrid elektromos járművek

Azon hagyományos járműveket sorolják ebbe a kategóriába, melyek fő teljesítmény forrása egy belsőégésű motor, ezen túl rendelkeznek egy másodlagos, közepes teljesítményű, de önálló meghajtásra alkalmatlan elektromos motorral. Ezeknél az elektromotor szerepe a motor átforgatásán és az indítás könnyítésén túl a gyorsítás támogatása [12].

3. Enyhén hibrid elektromos járművek

Még inkább a hagyományos járművekhez hasonlítanak, lényegében egy túlméretezett indító-motorral rendelkeznek. Az elektromotort a belsőégésű motor dugattyúinak mozgásában tartására használják, akkor, amikor teljesítmény leadására nincs szükség. Ezzel üzemanyag takarítható meg, illetve gyorsabb és tisztább motorindítások érhetők el [12].

Az elektromos energia mechanikai munkává történő átalakítása szempontjából pedig az alábbi két módzat különböztethető meg:

1. Koncentrált, azaz központi vég-energiaátalakítás

A hajtásrendszer által termelt mechanikai energia, úgy hasznosul, mint egy hagyományos, pusztán belsőégésű motorra támaszkodó járműben. Légcsavaros repülőgép esetén, a motorból érkező mechanikai energia áttételen keresztül, de további rásegítés nélkül, hajtja meg a légcsavart vagy légcsavarokat. Közúti járművek esetén pedig a belsőégésű motor egy differenciálmű segítségével adja át a meghajtást a kerekekre. Tehát az elektromotor és a belsőégésű motor teljesítményének összegzése a végfelhasználáshoz képest korábban, egy központi áttételházban történik meg [13].

Ilyen, központi energiaátalakítást végző hajtáslánccot, elsősorban akkor érdemes kialakítani, ha a meghajtandó fogyasztók száma alacsony, vagy ha a hibridhajtás párhuzamos jellegű és nem magasan hibridizált [12].

2. Elosztott vég-energiaátalakítás

Azokat a hajtásokat nevezik elosztottnak, ahol minden egyes mechanikai energiát fogyasztó berendezésre jut egy-egy, azokat külön tápláló motor. Ez hibrid-elektromos hajtások esetén, úgy valósítható meg, ha minden fogyasztóhoz tartozik egy elektromotor, párhuzamos hibridhajtás esetén külön áttétel is, ahol a teljesítményeket összegezni lehet [14].

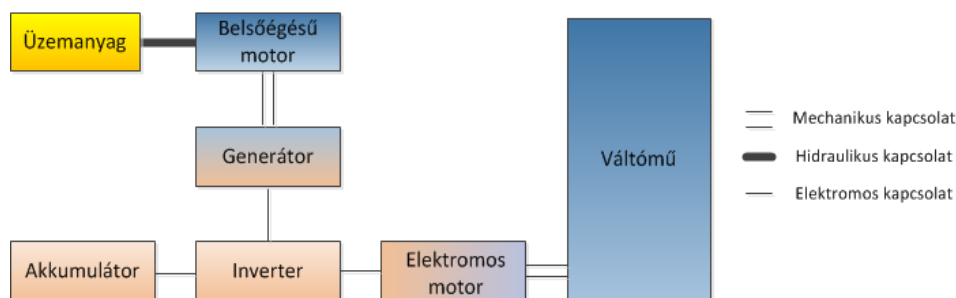
Elosztott energiaátalakítást végző hajtáslánccot, elsősorban akkor érdemes kialakítani, ha sok fogyasztót kell táplálni és a meghajtást tisztán-elektromos vagy soros hibridelektromos hajtásrendszerrel biztosítjuk [12].

A hibrid-elektromos járművek hajtásrendszerei a felhasznált erőforrásokat különböző módon kapcsolhatják össze, így beszélhetünk soros vagy párhuzamos elrendezésről. Ezek legfőbb jellemzői a következőképpen alakulnak:

Soros elrendezés

A soros hibrid hajtáslánc tartalmaz egy üzemanyagtartályt és egy akkumulátort, mint energia tárolót, egy belsőégésű motort, mint a nyugvó energia mechanikussá alakítóját, egy generátort, ami a mechanikus energiát elektromossá konvertálja, valamint legalább egy elektromotort, amely a jármű hajtásáért felelős. Az előbbi elemeken kívül a motor típusától függően – mint egyenáramú vagy váltóáramú – szükség lehet egy inverterre, valamint egy egyenirányítóra az akkumulátor és a generátor közé.

E rendszerekben nincs mechanikus kapcsolat a belsőégésű motor és az elektromosan táplált eszközök, berendezések, motorok között [15].



7. ábra Soros hibrid-elektromos hajtáslánc [16]

A soros hibrid elektromos hajtás üzemmódjai:

- **tiszta villamos hajtás:** azaz akkumulátoros üzemmód, amikor a belsőégésű motor nem üzemel, nem fogyaszt tüzelőanyagot, de nem is termel energiát;
- **tiszta motorikus mód:** a meghajtást kizárólagosan a belsőégésű motor biztosítja, a generátor táplálásán keresztül;
- **hibrid mód:** a meghajtás, mindkét energiaforrás használatával biztosított;
- **motorikus és akkumulátortöltő mód:** a tüzelőanyag energiája biztosítja a meghajtást és az akkumulátorok töltését is. álló jármű esetén tiszta akkumulátor töltő üzemmód. haladó jármű esetén kiegészülhet a "visszatápláló" üzemmóddal;
- **„visszatápláló” fékezési mód:** felszíni járművek esetében lehetséges üzemmód, megfelelő elektromos rendszer esetén az elektromotorokat generátorként alkalmazva, a fékezések energiáját az akkumulátorok töltésére lehet fordítani.

A soros hibrid hajtás előnyei:

- a belsőégésű motor a jármű hajtásigényétől függetlenül működik. Így elérhető, hogy kizárólag a legmagasabb hatásfok közelében üzemeljen;
- felhasználástól függően kialakítható koncentrált és elosztott meghajtás is;
- kevesebb a mozgó alkatrész.

A soros hibrid hajtás hátrányai:

- a tüzelőanyag energiataralmát felhasználás előtt legalább háromszor kell átalakítani, de akkumulátorok töltésére is alkalmazva, még további két konverzió szükséges;
- a vonóerőt létrehozó motor(oka)t, úgy kell méretezni, hogy a maximális követelményeket is képesek legyenek teljesíteni.

Párhuzamos és komplex-párhuzamos elrendezés

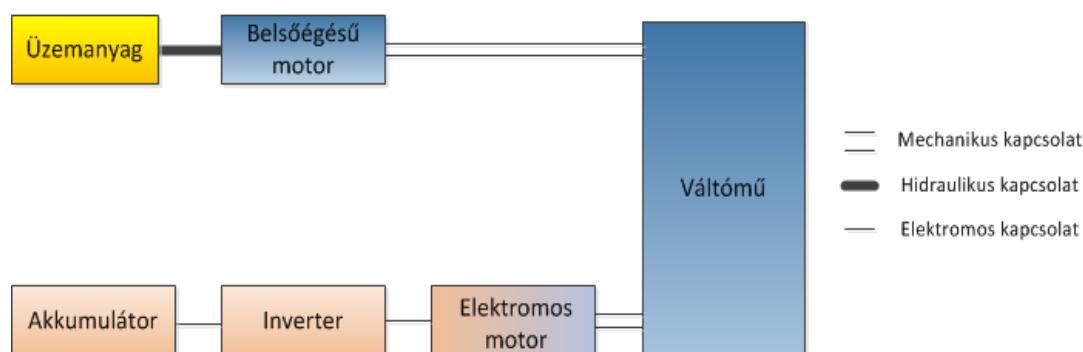
Párhuzamos elrendezések esetén az elsődleges és másodlagos energiahordozókat külön-külön alakítják mechanikai energiává és üzemmódtól függően együtt vagy külön használják azokat.

Egy párhuzamos hibrid hajtáslánc felépítése tartalmaz egy üzemanyagtartályt és egy akkumulátort, mint energia tárolót, egy belsőégésű motort, mint a nyugvó energia mechanikussá alakítóját, legalább egy elektromotort, valamint az elektromotorok számával egyező mennyiségű mechanikus teljesítményösszegző áttételt. Az előbbi elemeken kívül a motor típusától függően – mint egyenáramú vagy váltóáramú – szükség lehet egy inverterre az akkumulátor és az elektromotor közé. A párhuzamos hibrid rendszerek felépítése függ: a hibridizáció mértékétől, azaz a beépített akkumulátor kapacitásától, elektromotor teljesítményétől, és a teljesítményt összegző áttétel jellegétől [14].

Tisztán párhuzamos hibridhajtás

Tisztán párhuzamosnak nevezzük azokat a kapcsolásokat, ahol a belsőégésű motor nem használható villamos energia előállítására, azaz a két hajtásrendszer – a tüzelőanyag alapú és az elektromos – csak a véghajtómű előtt a teljesítmény összegzőben kerül kapcsolatba.

Az ilyen elrendezések a soros- hibridhajtásnál tárgyalt üzemmódok közül a motorikus akkumulátor töltésre nem képesek, az összes többire viszont igen, eltekintve a berendezések kapcsolásainak különbségeitől.



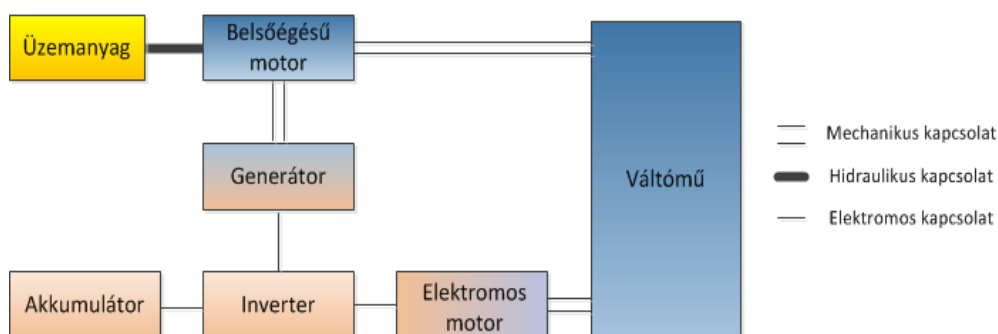
8. ábra Tisztán párhuzamos hibrid-elektromos hajtáslánc [16]

Tisztán párhuzamos hajtás előnyei:

- a soroshoz hasonlóan, ahol a belsőégésű motor optimális fordulatszám tartományban üzemeltethető, itt ugyanez az elektromotorról is elmondható;
- az erőforrások energiáit a rendszer csak egyszer alakítja át, így kisebb az ebből adódó veszteség;
- kisebb a hajtásrendszer tömege, mivel pl. nem tartalmaz generátort;
- tisztán párhuzamos hajtás hátránya, hogy a fékenergia visszatáplálásán kívül, nincs az akkumulátorok töltésére alkalmas üzemmódja.

Komplex-párhuzamos hibridhajtás

Ezekben a hajtásrendszerekben megvalósítható a soros hajtásrendszernél bemutatott összes üzemmód [15].



9. ábra Komplex-párhuzamos hibrid-elektromos hajtáslánc [16]

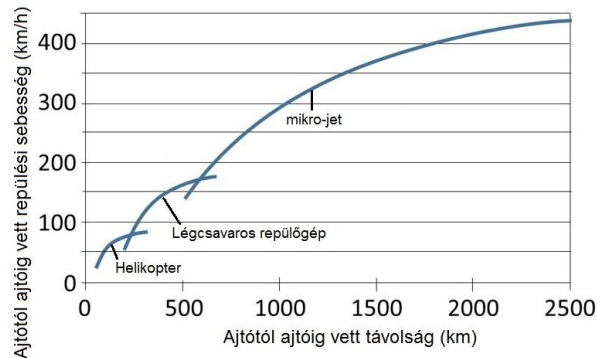
Komplex párhuzamos hajtás előnyei:

- a tisztán párhuzamos hajtáshoz hasonlóan, a belsőégésű motor és az elektromotor is optimális fordulatszám tartományban üzemeltethető;
- van lehetőség az erőforrások energiáit, egyszeri átalakítással felhasználni;
- van lehetőség az akkumulátorok töltésére

Komplex párhuzamos hajtás hátránya, hogy ez a hajtásrendszer-típus rendelkezik a legtöbb mechanikai és elektromos kapcsolattal, valamint berendezéssel, így szerkezeti tömege is ennek a legnagyobb.

Attól függően, hogy mekkora egy repülőgép hatótávolsága és repülési sebessége, eltérő propulziós rendszereket alkalmaznak. Míg nagy felszállótömeg, nagy repülési távolságok esetén a gázturbinák hatékonysága kedvezőbb, addig csökkenő hatótáv és tömeg esetén a turbópropelleres majd a propelleres toló-/vonóerő termelés az előnyösebb. A vizsgált rendszerek propulziós

hajtását tekintve a 10. ábra alapján a légcsavaros megoldás tekinthető legkedvezőbbnek az áttekintett megoldások közül.



10. ábra Ajtótól-ajtóig alkalmazott repülőgép fajták összevetése repülési sebesség és távolság alapján [saját]

CARGO UAV KÖVETELMÉNYEINEK MEGHATÁROZÁSA, SPECIFIKÁCIÓK

Ahhoz, hogy a megcélzott piaci rés követelményeit ki lehessen elégíteni, a pilótanélküli cargo repülőgépnek több speciális elvárást is teljesítenie kell. E fejezet célja, az utóbbiak összegyűjtése, majd ezeket számszerűsíteni és rendszerbe foglalni. A beszállítói és elosztói elvárásoknak való megfelelés érdekében, illetve, hogy a tervezett légijármű egyértelműen piaci előnyt jelentsen a közúti áruszállítással szemben, a következőknek kell megfelelnie:

- a pilóta nélküli konstrukció, melyet nagyobb és kisebb cégek is üzemeltethetnek;
- hibrid hajtás;
- az UAV-nek felszállásra késznek kell lennie maximum 30 percen belül, beleértve a be- vagy kirakodást is. Utóbbit a tankolással, felszállásra való felkészítéssel egyszerre is el lehessen végezni;
- az indításhoz szükséges biztonsági intézkedések rövid időn belül (maximum 15 perc) legyenek végrehajthatóak;
- az UAV kisebb repülőtereken és logisztikai központokban (vagyis nem ellenőrzött területeken) is legyen képes fel- és leszállásra;
- fel- és leszállás során tisztán elektromos hajtással üzemeljen a kisebb környezeti terhelés miatt;
- leszállás közben lehetőleg termeljen vissza energiát az akkumulátor(ok)ba;
- repülési sebessége a 250–280 km/h-t, hatótávolsága a ~400 km-t, repülési magassága a 70–90 FL (2–3000 m) érje el;
- rendelkezzen automatikus navigációs és irányító rendszerekkel, automatikus repülés-végrehajtás, szükség esetén a távirányítás lehetőségével, valamint helyből le-és felszállás képességével, kibertámadások elleni védelemmel;
- legyen vészleszállító rendszere a repülésirányító rendszer meghibásodása esetén;
- tartson folyamatos kommunikációs kapcsolat az üzemeltetői központtal;

Indikátor neve	Definíció	Befolyásoló tényezők	Korlátozások	Megjegyzés
költség	a teljes élettartam-költség repült órára vetítve	- tulajdonjog (megosztás) - a repülőgép teljesítménye - az üzemanyagárak - nyújtott szolgáltatás - a környezeti hatásoktól függő repülőtéri vagy légtérhasználati illeték - adózási rendszer (előnyben részesítve az elektromos áram használatát)	a repülőgépek üzemeltetési költségeinek a kamionok üzemeltetési költsége alattinak kell lennie	A NASA SATS projekt tagjai által kifejlesztett repülőgép már elérte ezt a küszöbértéket kisrepülőgép kategóriában
ajtótól aajtóig vett idő (τ_{DD}) vagy sebesség (V_{DD})	az „ajtótól aajtóig” vett teljes utazási idő vagy sebesség	- nyújtott szolgáltatás - a repülőgép teljesítménye - a repülőterek távolsága a logisztikai központoktól - közúti/vasúti infrastruktúra	$V_{DD} = (2,1 + 0,00004R)^{0,67}$ $\tau_{DD} = R/V_{DD}$ R – „ajtótól aajtóig” vett távolság $[V_{DD}] \rightarrow \frac{km}{h}; [\tau_{DD}] \rightarrow h; [R] \rightarrow km$	példa a küszöbértékre
biztonság és védelem	baleset kockázata halálos baleset kockázata bűncselekmény kockázata eltérítés kockázata	- repülőgép teljesítmény - légijármű-ellenőrző rendszer - légiforgalmi irányítás - pilótafülke műszerek - kísérleti támogató rendszer - pilóta, légijármű- és légiforgalmi irányítás, vészhelyzetkezelés - légi, repülőtéri és légiforgalmi biztonsági rendszer - biztonsági joghatóság	baleset kockázata $\leq 10^{-5}$ halálos baleset kockázata $\leq 10^{-7}$ bűncselekmény kockázata $\leq 10^{-6}$ sikeres eltérítés kockázata $\leq 10^{-10}$	a meghatározott küszöb-értékek elég alacsonyak, de mindezek további megbeszélések tárgyát képezik
igények	az adott repülőgép igény szerinti rendelkezésre állási ideje	- repülőgépek száma, - légi taxi szolgáltatások - a tulajdonjogok megosztása, - informatikai rendszer	$\tau_{DD} = 15 + 0,02 * R \text{ perc}$ R – „ajtótól aajtóig” vett távolság	

2. táblázat Alkalmazott indikátorok és azok előzetes definiálása [saját]

- ➔ feleljen meg a logisztikai cégek által támasztott speciális követelmények (pl. nemzetközi egységes konténerméretek és szállítandó tömegek), valamint megrendelői/üzemeltetői specifikus elvárások (nyomon követés, kommunikáció, a meglévő minőségbiztosítási rendszer integrálása stb.);
- ➔ egyszerű, fail-safe mechanizmusok az üzemeltetési és karbantartási követelmények csökkentése, illetve a mobilitás növelése érdekében;
- ➔ automatikus rakomány feltöltés és ürítés;
- ➔ építéséhez környezetbarát anyagokat használata;
- ➔ multifunkcionalitás: fel- és leszálláskor használt elemek többcélú használata a súlycsökkentés érdekében.

Konténer méretek

A felhasználási területeiket tekintve e konténerek elsősorban a tengeri áruszállításra lettek kialakítva, tömegük meghaladhatja a 20 tonnát is. Bár érdekes feladat lenne a kikötői ki- és berakodás folyamatának felgyorsítására bevezetett cargo UAV-ket tervezni, ezek össztömege így könnyen meghaladhatná a 40–50 tonnát, ami mindenképpen a hagyományos, jet hajtást igényelne. A hibrid hajtások energiasűrűsége még nincs ezen a szinten.

Az áruk szállításának alapjait a konténerek jelentik, melyeket a szállítmányozás egyszerűsítésére vezettek be, és szabványosítottak világszerte. E szabványt az ISO-container tartalmazza a következő méretekkel:

Típus	Hossz [mm]	Szélesség [mm]	Magasság [mm]	Súly (üres) [kg]
6 lábás	1900	1750	1800	500
8 lábás	2438	2000	2221	700
10 lábás	2991	2438	2591	1000
15 lábás	4550	2200	2260	1300
20 lábás	6058	2438	2591	2200
40 lábás	12 192	2438	2591	3700
40 lábás HC	12 192	2438	2900	3900
45 lábás HC	13 500	2438	2900	4200

3. táblázat A standard ISO konténerek méretei [17]

Így a szállítandó konténereknek elsősorban a repülésben már használt „Unit Load Device”-okat (ULD) vesszük alapul. Ezek alapvető formái a konténerek, illetve a raklapok, melyek méreteit a 4 táblázat mutatja be.

Az LD1–LD3-ig a konténerek maximális tömege 1588 kg, a nagyobb LD11 pedig maximum 3176 kg lehet (hasznos teherrel együtt). [19] Természetesen létezik több variációs is, főleg a raklapok esetében (itt a maximum tömeg akár 11340 kg is lehet), viszont 3176 kg lehet az a felső határ, amit az előzetes tervezés során alapul vehető. Így a szállítmányozási folyamatban a széles/keskenytörzsű cargo gép beérkezése után a célrepülőtérre az ULD-k kivétele után azok felesleges ki- vagy becsomagolása helyett módosítatlan formájukban elindulhatnak a logisztikai központokba.

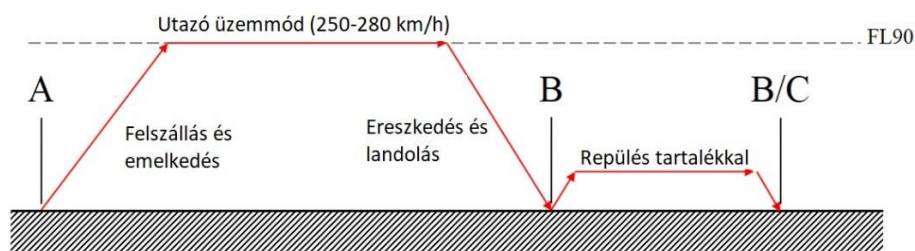
Előírások, üzemeltetési profil

Bár az elektromos hajtású kisrepülőgépek egy töretlenül fejlődő szegmense a repülőiparnak, jelenleg nincs konkrét reájuk vonatkozó előírás. Az EU-OPS 1.255 a repülőgépekre vonatkozó mérvadó szabályozása szerint, a hajtómű/motor leállítása után a fedélzeten nem lehet kevesebb tüzelőanyag, mint ami dugattyús motor esetében 45 perc, gázturbina esetében pedig 30 perc üzemeléshez szükséges. A jelenleg ismert, tervezett (Siemens Extra 330LE, Siemens Magnus eFusion, Pipistrel Alpha Electro) elektromos repülőgépek egyike sem teljesíti e feltételeket, igaz ezek a gépek nem is pilóta nélküli repülőeszközök, és nem is hasonló mérettartományban mozognak, mint a tervezett cargo UAV.

Ahhoz, hogy később meghatározható legyen a repülőgép szükséges tömege, fel kell állítani egy, teljes ciklusra vonatkozó repülési profilt. (11. ábra) Ez a felszállást követően a repülési magasság elérése után egy konstans magasságon történő, utazó üzemmódú repülést, illetve ezt követően a süllyedést és leszállást jelenti. Továbbá – kompatibilissé téve a jelenlegi előírásokhoz – egy tartalékkal való rövidebb repülési szakasz végrehajthatóságát.

Konténer típus	Térfogat [m ³]	Méreték (bázisszélesség / teljes szélesség × mélység × magasság) [mm]	Megjegyzés
LD1	4,9	1560 / 2340 × 1530 × 1630	kontúros, félszélességű
LD2	3,4	1190 / 1560 × 1530 × 1630	kontúros, félszélességű
LD2	4,5	1560 / 2010 × 1530 × 1630	kontúros, félszélességű, IATA szerinti méretek
LD3-45	3,6	1560 / 2440 × 1530 × 1143	dupla kontúros, teljes szélességű, IATA szerinti méretek, A320-as kompatibilitás
LD6	8,95	3180 / 4070 × 1530 × 1630	kontúros, teljes szélességű, 2 LD3-asnak felel meg
LD8	6,88	2440 / 3180 × 1530 × 1630	kontúros, teljes szélességű, 2 LD3-asnak felel meg, DQF toldalék
LD11	7,16	3180 × 1530 × 1630	Kontúr nélküli LD6-os, négyszögletes
LD8	6,88	1530 × 2440	azonos méretű konténer-változatok;
LD11	7,16	1530 × 3180	azonos méretű konténer-változatok; PLA, FLA toldalékok
LD7 (2 variáció)	10,8 11,52	2240 × 3180 2440 × 3180	PAG, P1P toldalékok PMC, P6P toldalékok
Konténer típus	Térfogat [m ³]	Méreték (bázisszélesség / teljes szélesség × mélység × magasság) [mm]	Megjegyzés
LD1	4,9	1560 / 2340 × 1530 × 1630	kontúros, félszélességű
LD2	3,4	1190 / 1560 × 1530 × 1630	kontúros, félszélességű
LD2	4,5	1560 / 2010 × 1530 × 1630	kontúros, félszélességű, IATA szerinti méretek
LD3-45	3,6	1560 / 2440 × 1530 × 1143	dupla kontúros, teljes szélességű, IATA szerinti méretek, A320-as kompatibilitás
LD6	8,95	3180 / 4070 × 1530 × 1630	kontúros, teljes szélességű, 2 LD3-asnak felel meg
LD8	6,88	2440 / 3180 × 1530 × 1630	kontúros, teljes szélességű, 2 LD3-asnak felel meg, DQF toldalék
LD11	7,16	3180 × 1530 × 1630	Kontúr nélküli LD6-os, négyszögletes
Raklap típus	Térfogat [m ³]	Méreték (bázisszélesség / teljes szélesség × mélység) [mm]	Megjegyzés
LD8	6,88	1530 × 2440	azonos méretű konténer-változatok;
LD11	7,16	1530 × 3180	azonos méretű konténer-változatok; PLA, FLA toldalékok
LD7 (2 variáció)	10,8 11,52	2240 × 3180 2440 × 3180	PAG, P1P toldalékok PMC, P6P toldalékok

4. táblázat ULD típusok [18]



11. ábra A koncepcionális cargo UAV üzemelési profilja [saját]

A felszállás függőlegesen történik, csak az elektromos energiát felhasználva, majd az emelkedés folyamán már alkalmazható a beépített konvencionális motor/gázturbina egység is. A repülési magasság 9000 láb (=2743 m = FL90) történik, ahol 250–280 km/h sebességgel halad a cargo UAV. Az előző fejezetben leírtaknak megfelelően, a hatótávolság legalább 400 km, így az ábra A és B pontja közötti táv is ennek felel meg. Szintén limitként jelenik meg a repülési magasság elérése, melyet 20 percen belül meg kell érni. Figyelembe véve a repülési magasságot ez átlagosan 2,29 m/s-os emelkedési sebességet jelent (\mathbf{w}_{cl}), amivel némileg mérsékelhető a hajtásrendszer teljesítményigénye. Tekintve a repülőgép várható össztömegét, a belső égésű motorok valószínűsíthetően nem lesznek képesek elegendő energiát termelni, így az elektromos hajtás mellé gázturbina egységet kell telepíteni, aminek a tartalékkal történő repüléskor 30 perc időtartamot kell kibírnia.

Az A és B közötti távolság a leírt folyamatok alapján a következő egyenlettel írható le:

$$d_{AB} = V_{cl} \cdot t_{cl} \cdot (1 - \tau_{cl}) + d_{cr} + V_{des} \cdot t_{des} \cdot (1 - \tau_{des}) \quad (1)$$

ahol d_{cr} jelöli az utazó üzemmódban megtett távolság, V_{cl} és V_{des} az emelkedés és süllyedés átlagos földhöz viszonyított sebessége, t_{cl} és t_{des} az utazó és süllyedési fázisok időtartama, τ_{cl} és τ_{des} a fel- és leszállópályák közelében történő manőverek időtartama.

Ahhoz, hogy meghatározható legyen az egyes repülési fázisok végrehajtásához szükséges teljesítményt, a következő repülésmechanikai egyenletet kell használni:

$$P_{eng_i} = \left(\frac{w_i}{w_i} + D_i \cdot V_i \right) \cdot \frac{1}{\eta_{prop_i} \cdot \eta_{trans_i} \cdot \zeta_i} \quad (2)$$

ahol w_i jelöli a vertikális sebességet, melynek értéke emelkedés során pozitív, utazó üzemmódban 0 és süllyedéskor negatív; W_i a repülőgép tömege, D_i a légellenállás adott állásszögön; η_{prop_i} a légszárny hatásfoka; η_{trans_i} az áttételi rendszer hatásfoka; ζ_i teljesítmény beállítások a maximális folyamatos energiagazdálkodási értékhez képest. A kezdeti számítások során az egyes paramétereket még csak becsülni lehet. Tovább nehezíti a számítási folyamatot, hogy nincs hasonló koncepciójú repülőgép a piacon, így a hiányzó paraméterek (pl. a légellenállás) kiszámítása csak közelítő algoritmusok, módszerek segítségével történhet.

Amíg egy elektromos motor tengelyteljesítménye független a repülési magasságtól, addig ez nem mondható el a gázturbinákról. Ennek a figyelembe vételével vezethetjük be például az Austyn-Mair és Birdsall modellt:

$$\frac{P}{P_{SL}} = AM^n \quad (3)$$

ahol, P jelöli a leadott (magasságfüggő) teljesítményt, P_{SL} a tengerszinten leadott (etalon) teljesítményt, A hajtóműre jellemző konstans, M a Mach-szám és n pedig szintén egy hajtómű függő konstans.

A szükséges akkumulátor kapacitás meghatározható, ha összegezzük az átlagos hajtómű teljesítményt (P_{eng_i}), a repülőgép rendszereinek energiafelhasználását (P_{aux_i}), az akkumulátor rendszer hatásfokát (η_{elec}), egy biztonsági tényezőt (ζ_i) és a repülési időt (Δt_i):

$$E_{batt} = \sum_{i=1}^n (P_{eng_i} + P_{aux_i}) \cdot \eta_{elec} \cdot \zeta_i \cdot \Delta t_i \quad (4)$$

A szükséges hajtómű teljesítmény, elektromos motor teljesítmény, akkumulátor kapacitás, hajtómű tömeg, az akkumulátor és a szükséges tüzelőanyag kiszámolható. A felszálló tömeg (m_{to}) meghatározásához iteratív módon kell számítani a szerkezet tömegét (m_{struct}), hasznos terhet (m_{pay}), hajtómű tömegét (m_{eng}), a tüzelőanyag tömegét (m_{fuel}), akkumulátorok tömegét (m_{batt}), végül pedig az elektromos motort és rendszereit (m_{es}):

$$m_{to} = m_{struct} + m_{pay} + m_{eng} + m_{fuel} + m_{batt} + m_{es} \quad (5)$$

A project során a következő lépés a repülőgép [5] egyenletben szereplő tömegeinek meghatározása, mely során kiderül, hogy a hibrid konstrukció be tudja-e váltani a hozzá fűzött reményeket. Az elsődleges cél, az egy főgépről (gázturbináról) hajtott több elektromos motor – propeller konstrukció vizsgálata, melynek teljesítménysűrűsége egyértelműen jobbra adódik a hagyományos kiosztásokkal szemben. Viszont a szükséges akkumulátor tömeg vissza billentheti a mérleg nyelvét: ha annak tömege túl nagyra adódik, akkor már nem biztos, hogy érdemes lesz alkalmazni. A jövőben ezt az analízist kívánom végrehajtani.

ÖSSZEFOGLALÁS

E cikk, a „Disruptív technológiák kutatás-fejlesztése az e-mobility területén és integrálásuk a mérnökképzésbe” pályázattal egyetértésben egy olyan pilóta nélküli, hibrid hajtáslánccal rendelkező teherszállító légi jármű koncepcióját és a szükséges feltétel-/követelményrendszerét építi fel, mely képes az áruszállítás támasztotta körülményeknek megfelelni mind hasznos terhet, mind hatótávolság szempontjából. Ugyanakkor használatakor a jelenlegi technológiákhoz képest jóval kisebb környezeti terhelést okoz.

A munka során először röviden a légiszállítmányozás trendjeit mutattam be, melyek bár sok hasonlóságot mutatnak az utasforgalom alakulásával, mégsem egyeznek azokkal, mivel más driverek, más inputok hatásai formálják. A hagyományos légiszállítmányozási modellen belül egy olyan fázis célozható meg hibrid hajtású cargo UAV-val, amelyben jelenleg a közúti szállítmányozás az egyeduralkodó. Ehhez bemutatattam a jelenleg használatos cargo UAV-kat, áttekintve előnyeiket, hátrányaikat, rámutatva arra, hogy miért van szükség új konstrukció kidolgozására. Ezután összegyűjtöttem, az e-cargo UAV-vel szemben támasztott elvárásokat, melyek kiindulási alapjai lesznek a későbbi előzetes tervezési, méretezési számításoknak.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Current Market Outlook 2016-2035. 2016, Boeing Company
- [2] Fehér Krisztina, Óvári Gyula: Alternatív tüzelőanyagok alkalmazásának realitásai a repülésben, a XXI. század első felében Repüléstudományi szemelvények 2017. NKE pp. 113-157. ISBN 978-615-5764-80-6 <http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2017.pdf>.
- [3] Growing Horizons 2017/2036, in Global Market Forecast. 2017, Airbus.
- [4] Moving Air Cargo Globally, in Air Cargo and Mail Secure Supply Chain and Facilitation Guidelines 2013, ICAO Security & Facilitation WCO.
- [5] Boeing, World Air Cargo Forecast, T. Crabtree, Editor. 2016.
- [6] IATA, Cargo Chartbook, Freight demand stays strong into H2, alongside a rising yield trend, Q3 2017, D. Oxley, Editor. 2017.
- [7] Office, F.D.o.T.A., Florida Air Cargo System Plan, Chapter 2, Air Cargo Trends and Overview, I. Wilbur Smith Associates, Editor. 2015.
- [8] Abbott, T.S., K.M. Jonse, M.C. Consiglio, D.M. Williams, and C.A. Adams, Small Aircraft Transportation System, Higher Volume Operational Concept: Normal Operations. 2004, NASA.
- [9] Peters, J.E., S. Seong, A. Bower, H. Dogo, A.L. Martin, and C.G. Pernin, Unmanned Aircraft Systems for Logistics Applications. 2012, Arroyo Center.
- [10] Sauvageau, B., K-MAX Cargo Unmanned Aerial System. 2011, NAVAIR Public Release Number 11-571: Kaman Aerospace, Lockheed Martin.
- [11] Morrison, M. Our top eight tiltrotor aircraft from concepts to one in-service success. 2015; Available from: <https://www.flightglobal.com/news/articles/our-top-eight-tiltrotor-aircraft-from-concepts-to-on-416183/>.
- [12] Momoh, O.D. and M.O. Omoigui. An overview of hybrid electric vehicle technology. in 2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. 2009.
- [13] Chen, K., A. Bouscayrol, A. Berthon, P. Delarue, D. Hissel, and R. Trigui, Global modeling of different vehicles. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2009. 4(2): p. 80-89.
- [14] Chan, C.C., The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles. Proceedings of the IEEE, 2001. 90(2): p. 247-275.
- [15] Bereczky, Á. and Z. Varga, Hibrid-, hibrid-elektromos járművek, hajtásrendszerek architektúrája, szabályozása, menedzsmentje és energiaforrások, in Motor és erőátviteli rendszerek mechatronikája, B. MOGI, Editor. 2014, BME MOGI: Budapest.
- [16] Kozár, A., Nagy hatótávolságú elektromos és hibrid-elektromos VTOL multirotor UAV megvalósíthatósági vizsgálata, in DAS. 2017, BME: Budapest. p. 102.
- [17] Solutions, C. Typical ISO (International Standards Organization) shipping containers. 2015; Available from: <http://containersolutions.net/specifications/>.
- [18] Boeing, Boeing 767 Airplane Description. 2005.
- [19] Group, A., Air freight ULD (Unit Load Devices) specifications. 2011.

DETERMINING THE REQUIREMENT SYSTEM OF A CARGO UNMANNED AERIAL VEHICLE WITH HYBRID PROPULSION SYSTEM

Recently, one of the fastest growing branches of the various segments of the aerospace industry is the development of unmanned aerial vehicles. Although, in the beginning the military industry gave the starting boost and continues to be the true pull force; the use of unmanned vehicles in its civilian use in the field of civilian use - in the absence of appropriate legal and regulatory frameworks - has now become more and more widespread. Thus, one of the promising uses of these air tools is their use as a cargo machine for specific purposes. The movement of goods is increasingly exaggerating in traditional manners (road, rail, water and conventional aviation). Together with the exponential increase in globalization, the more popular online stores and the achievement of shorter freight times yield for new technologies. In conjunction with the "Research and Development of Disruptive Technologies in e-mobility and Integration in Engineer Training", this article presents the concept and the required condition / requirement system for an unmanned cargo aircraft with hybrid propulsion system, capable of meeting the conditions of freight transport both useful load, in terms of range, but at the same time it has a much lower environmental burden than current technology.

Keywords: *hybrid propulsion, unmanned aircraft, UAV, cargo aircraft*

Bicsák György (MSc)
tanársegéd
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszék

gybicsak@vrht.bme.hu
orcid.org/0000-0002-3427-3918

Bicsák György (MSc)
Assistant lecturer
Budapest University of Technology and Economics
Department of Aeronautics Naval Architecture and
Railway Vehicles

gybicsak@vrht.bme.hu
orcid.org/0000-0002-3427-3918



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-13-0432_Bicsak_Gyorgy.pdf

Sándor Zsolt

A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰ RENDSZEREK FORGALMI MENEDZSMENTJÉT BIZTOSÍTÓ MEGOLDÁSOK INFORMÁCIÓRENDSZERÉNEK MODELLJE

A pilóta nélküli légi járművek forgalmi menedzsmentje – azaz a repülések beillesztése a hagyományos légtérfelhasználók köz – akkor lehet sikeres, ha rendelkezésre állnak azok az adatok, melyek alapján a járművek aktuális és jövőbeli pozíciója is ismert lehet. Az adatok tekintetében a különböző felhasználói csoportok és a forgalmi menedzsmentet ellátó rendszer információkezelési műveletei által számos olyan adat keletkeztethető, melyek hozzájárulnak a teljes légiközlekedési rendszer biztonságának növeléséhez. A cikkben feltárására kerülnek ezen adatok és az az adatstruktúra, mely a menedzsment rendszer működését támogatja.

Kulcsszavak: pilóta nélküli légi járművek, légiforgalmi menedzsment, drónok, információrendszer, légiforgalmi irányítás, repülési műveletek tervezése

BEVEZETŐ

A pilóta nélküli légi jármű rendszerek menedzsmentjét biztosító megoldások (összefoglalóan UTM¹ megoldások) funkcionalitásával több megelőző cikk is foglalkozott már. Ezek részletesen tartalmazzák azokat az ellátandó funkciókat – információkezelő műveleteket – melyek segítségével a berendezések integrálhatóak a hagyományos légtérfelhasználók közé [1][2][3][4]. Azonban a funkciók ellátásához szükséges adatok körét és ezek strukturált rendszerbe foglalását még nem vizsgálták, miközben az iparág jelentős fordulat előtt áll az alkalmazandó UAV²-k számát illetően [5][6][7]. Ez egy komplex rendszer működésénél az adatok azonosítása kiemelt jelentőségű, mivel az adatok strukturált rendszere jelenti az információkezelés alapját, amire a teljes funkcionalitás felépíthető.

Az UTM egy napjainkban is dinamikusan formálódó területe a légiközlekedésnek, melynek fejlődését jelentősen befolyásolja az elérhető technológiai és jogi környezet. Teljes funkcionalitással és nemzeti kiterjedéssel bíró UTM rendszer még egyetlen országban sem működik, azonban már vannak olyan kezdeti megoldások, melyek egy-egy platformra vonatkozóan képesek valós idejű információszolgáltatást biztosítani a felhasználók között az általuk megvalósított repülési műveletekről. A fejlesztések azokon a területeken fognak felgyorsulni, ahol a jogi szabályozás támogatja az iparágat, és ott várhatóak az első teljes funkcionalitással rendelkező UTM rendszerek megjelenése [3][6].

Maga az UTM úgy definiálható, mint a légiközlekedési rendszer operatív felhasználói (pilóta nélküli légi járművek használata által érintett entitások) és az általuk használt rendszerek együttműködéséből kialakuló rendszer-együttes – Systems of Systems (SoS) –, melynek célja az

¹ Unmanned Aircraft Systems Traffic Management – pilóta nélküli légi jármű rendszerek forgalmi menedzsmentjét biztosító megoldások együttese

² Unmanned Aerial Vehicle – pilóta nélküli légi jármű

UAV-k és a hagyományos légtérhasználók közötti biztonságos közlekedéshez szükséges elkülönítés fenntartása és a hatékony forgalomszervezés megvalósítása a földközeli, néhány 10 méteres kiterjedésű légtérben [1][2][3][8][9].

A cikk célja, hogy bemutassa az UTM megoldások információrendszerének modelljét, amely szisztematikusan és átfogó módon tartalmazza a kezelt információkat. Az információszerkezeti modell alapot nyújthat olyan komplex megvalósítás kialakításához, mely képes számos különböző forrásokból származó adatok komplex kezelésére a pilóta nélküli légi járművek felhasználási területén. Ezáltal az UAV-k integrálása a hagyományos légtérhasználók közé hatékonyabban megvalósítható, ami hozzájárul a biztonságosabb, forgalmi szempontból hatékonyabb és az üzemeltetési szempontból gazdaságosabb légi közlekedéshez.

Az átfogó integráció számos lépcsőből áll, és jelentős időráfordítást igényel [9][10][11][12]. Ennek megvalósítását támogatja az adatok oldaláról az információrendszer modellje.

Jelen cikkben csak a polgári célú felhasználás, és annak háttere kerül bemutatásra. A katonai és állami célú tevékenységek más típusú szabályozást igényelnek, és azok beillesztése a hagyományos légi közlekedési rendszerbe más megközelítést igényel.

UTM MEGOLDÁSOK INFORMÁCIÓS RENDSZERE

A pilóta nélküli légi járművek forgalmi menedzsmentjét biztosító megoldások modelljének kialakítása során mind az információs rendszert mind az információrendszer elemztem felépítés és működés szempontjából, hogy azonosítsam azokat az entitásokat, melyek segítségével leírható a teljes funkcionalitást biztosító rendszer [13][14]. Az elemzéshez felhasználtam azokat a korábbi megállapításokat, melyek a működésre vonatkozóan meghatározták azokat a funkciókat (információkezelési műveleteket), melyeket a rendszernek biztosítania kell, továbbá a már azonosított műszaki összetevőket is [2][3][4][15].

A cikk tartalmának jobb megértéséhez lényeges meghatározni, hogy mi az információs rendszer és az információrendszer:

- **Információs rendszer** (information system): Az információs rendszer a szervezet része (alrendszere), amely eljárásokat biztosít információk létrehozásához, rögzítésére, feldolgozására és elérhetővé tételére; a szervezethez vagy annak egy részéhez kapcsolódik; segíti a szervezet céljainak elérését. Az információs rendszer a szervezetek reprezentációja, amely a szervezet különböző szintjein lévő elemeit látja el információkkal a szervezet állapotáról. Ehhez felhasználja a szervezet által használt gépi rendszert, ami számos alrendszerből állhat.
- **Információrendszer** (system of information): Az információkat hordozó tárolt adatok strukturált rendszere, meghatározott szempontok alapján felépített és rendszerezett információk halmaza. Része az információs rendszernek.

A teljes légi közlekedést, mint globális rendszert, a légi közlekedési folyamatokban résztvevő szereplők és a működést befolyásoló, az iparági szereplők információs rendszereinek sokasága együttesen alkotja. Ezen belül helyezkedik el az UTM rendszer-együttes, ami jelen vizsgálat tárgyát képezi. Az információs rendszerek biztosítják az alapfolyamatok kezelését, azokra ráépülve, kiszolgálva az iparági szereplőket.

Az 1. ábrán szemléltetem a légiközlekedés és azon belül az UTM SoS információs rendszerének modelljét. A közlekedési rendszert a légiközlekedési alapfolyamatot alkotó járművek, a működést befolyásoló információs rendszer (jelen kutatás tárgyát képező UTM SoS, mint a légiközlekedési rendszer egy teljes funkcionalitással bíró része) és a humán összetevők (UTM SoS felhasználói) együttesen alkotják. Az információs rendszer biztosítja az alapfolyamatok kezelését arra szervesen ráépülve.

Az ábrán két dimenzió szerint jelöltem a rendszert alkotó összetevőket:

- ➔ részrendszerek, melyek a funkcionális működést biztosítják műszaki oldalról;
- ➔ funkcionális működést leíró alkomponensek, melyek alapján a teljes rendszer működése megvalósítható.

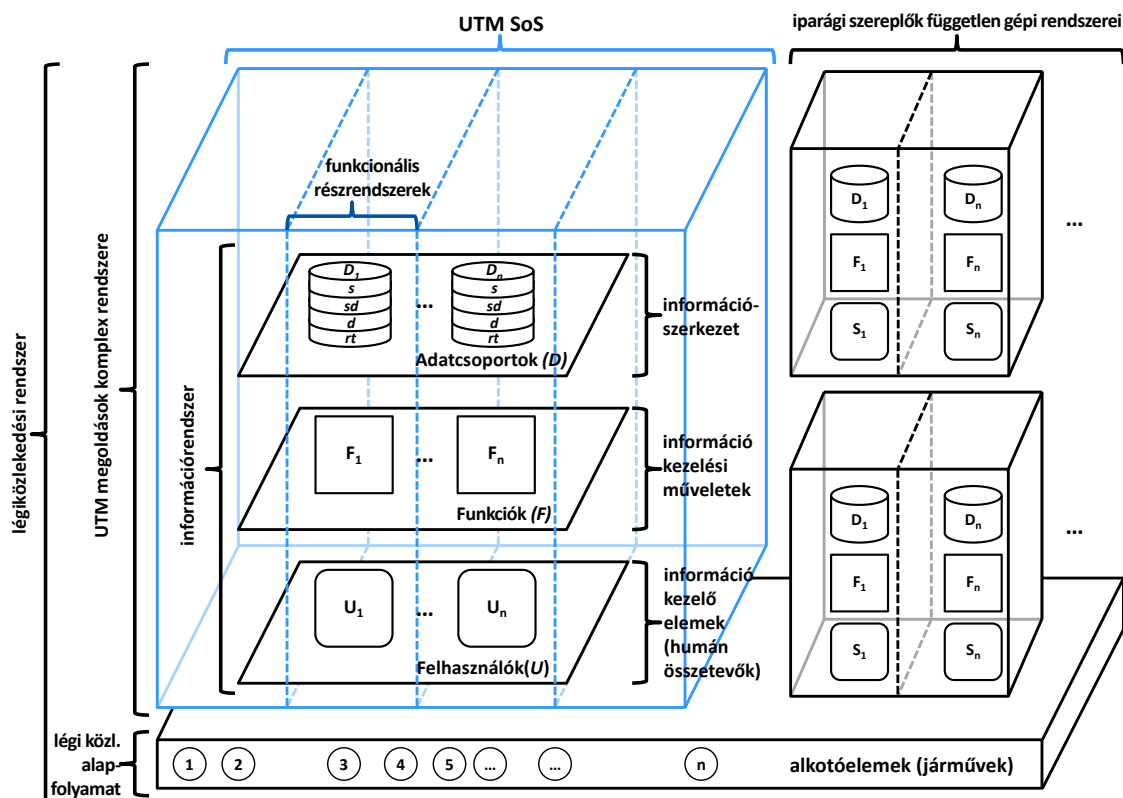
A részrendszerek összekapcsolják az információs rendszert alkotó összetevőket, és biztosítják a működéshez szükséges információk gyűjtését, tárolását, továbbítását és feldolgozását, illetve eljárások segítségével felbontják az összetevők közötti funkcionalitásbeli függőségeket egyszerűbb összefüggésekre. Ezen kívül bizonyos funkciók megvalósítása során interfész szerepet töltenek be a felhasználók és az információs rendszer között.

A légiközlekedés teljes rendszere rendkívül komplex, azt számos iparági szereplő együttesen alkotja. Minden partner független gépi rendszerrel – és az azokat alkotó alrendszerekkel – rendelkezik, melyek a saját illetékességi területén biztosítják az alapfolyamat hatékony kezelést (pl. ATM rendszerek, repülőtéri rendszerek stb.). A globális működés gördülékenységének biztosítása érdekében ezek a rendszerek egymással folyamatos kapcsolatban állnak, így az ábrán is feltüntetésre kerültek, mivel az UTM SoS is több más szereplő rendszereivel áll kapcsolatban.

A légiközlekedés területén a nagyfokú szabályozottságnak köszönhetően az egyes információkezelési műveletek jól meghatározottak, és – az esetek döntő többségében – egyértelműen hozzárendelhetők az információkezelő elemekhez (humán összetevők) [13]. Így jellemzően átfedés mentes kapcsolatok alakíthatók ki. Az alrendszerek egy-egy funkcionális tevékenységet látnak el, aminek következtében szintén nincs átfedés az ellátott funkciók között.

Az összetevők közötti összefüggések alapján kidolgoztam a pilóta nélküli légi jármű rendszerek forgalmi menedzsmentjét biztosító megoldások információs rendszerét. Ehhez feltártam és elemeztem az információkezelő műveletek körét, azonosítva a szükséges adatokat, majd azokat egységes rendszerbe foglalva alakítottam ki az UTM megoldások információs szerkezeti modelljét.

Az információs rendszerben valósulnak meg az információkezelési műveletek, mely egy magasabb szintű funkcionális tervezés eredménye. Ennek alapja az információs rendszer, mely tartalmazza a funkcionális megoldásokhoz szükséges adat és eljárás struktúráját. Ennek része az információs szerkezeti modell, mely biztosítja a strukturált adattárolást és adatrendszeresítést. Az információs szerkezeti modell realizációja az információs szerkezeti mátrix, mely csoportosítva tartalmazza a felhasználók által, a funkciók megvalósítása során kezelt adatokat.



1. ábra UTM SoS információs rendszerének modellje [saját forrás]

INFORMÁCIÓRENDSZER MODELLEZÉSE

A modell kialakítása érdekében elemeztem a légitármű közl. alap-folyamat működését. Az információs rendszer és az információrendszer alapú modellezés olyan univerzális megközelítés, mely segítségével lehetőség van a komplex rendszerek és folyamatok modellezésére [13][14]. Segítségével azonosítani lehet azokat a műveleteket, humán összetevőket és adatokat, melyek a működés során keletkeznek egy komplex rendszerben, és lehetőség van ezeket strukturáltan csoportosítani, ami egyfajta absztrakt modellezés által hozzájárul a fejlesztések és az üzemeltetés hatékonyságának növeléséhez, azáltal, hogy ismertté válnak az egyes információkezelési műveletek adatigényei. Így a rendszerek kezdeti – de akár további – fejlesztése(i) során nemcsak a funkcionalitás, hanem a mögötte lévő adatszerkezet is kialakítható vagy finom hangolható, ami szervesen kapcsolódik a működéshez, illetve azt megalapozza.

Függetlenül a modell univerzalitásától szükség van arra, hogy az adott iparágban megfelelő speciális és egyedi kialakítások a modellben is megjelenjenek. Nincs ez másképp a légiforgalmi iparágban sem. Így első lépésként a modell használatakor meg kell határozni modellalkotási és felbontási mélységet (komponensek elemzési mélysége, vizsgálat vertikális kiterjedésének lehatárolása), mely alapján minden további elemzés elvégezhető. Ennek szükségességét a különböző iparágokban a tevékenységek időhorizontjának és az adatok érvényességi idejének eltérése indokolja.

Mivel az UAV-k működésével összefüggő repülésirányítási és operatív forgalomirányítási feladatok jelentős része jelenleg a légiforgalmi irányításnál jelentkezik, így vizsgálataimat ezen

oldalról indítottam. Azonosítottam a pilóta nélküli légi járművek közlekedésével kapcsolatos felhasználói csoportokat, a megvalósítandó információkezelési műveletekkel összefüggő adatok körét és azokat a gépi rendszereket, melyek az UTM rendszer-együttes működéséhez szükségesek.

A modell összetevői:

- felhasználók;
- funkciók;
- adatszoportok;
- funkcionális részrendszerek.

Felhasználók (U_n)

A pilóta nélküli légi járművek használatával kapcsolatosan azonosítottam az összes érintettet / stakeholdert, mint a rendszer humán összetevői, akik a megvalósítják a szolgáltatással kapcsolatos információkezelést. Őket csoportosítottam. Az eredményeket – mely *high level* besorolásnak tekinthető – az 1. táblázat tartalmazza. A lista és a felbontás mélysége az alkalmazandó UTM rendszer-együttes üzembe állítástól függően kismértékben változhat.

Jelölés	Felhasználói csoport	Leírás
U ₁	UAV operátor	Pilóta nélküli légi jármű felhasználási helyszínen való irányítását megvalósító személy
U ₂	Pilóták	Hagyományos légi járművek vezetői
U ₃	Légiforgalmi irányítók és repüléstájékoztatók	Légiforgalmi irányítást és a repüléstájékoztatót biztosító szolgálatok munkatársai, akik közvetlen rádiókapcsolatban állnak a hagyományos légtérhasználókkal az ellenőrzött és nem ellenőrzött légtérben
U ₄	UTM operátor	Pilóta nélküli légi járművek forgalmi menedzsmentjét biztosító rendszer-együttes operatív működését biztosító személy
U ₅	Légiforgalmi tisztek	Légiforgalom szervezéséért, lebonyolításáért, tájékoztató anyagok rendelkezésre állásáért felelős személyek (légiforgalmi irányítást és repüléstájékoztatót támogató tevékenységek összességét ellátó munkatársak)
U ₆	Földi operatív személyzet	Hagyományos és UAV-kel végrehajtott repüléseket támogató szakszemélyzet (jellemzően a repülőtéri és helyszíni személyzet)
U ₇	Rendszerüzemeltetők	UTM megoldásokhoz szükséges műszaki rendszereket üzemeltető szakemberek
U ₈	Hatóság	Légügyi területért felelős hatóság munkatársai, akik a szükséges kontrollt gyakorolják a téma felett
U ₉	Készenléti szervek	Rendőrségi, katasztrófavédelmi és egyéb állami szervek munkatársai
U ₁₀	Állami adminisztrátorok	Állami nyilvántartásba vételi és egyéb állami nyilvántartással kapcsolatos feladatokat végző munkatársak

1. táblázat UTM SoS humán összetevők [saját forrás]

Funkciók (F_n)

A funkciók jelentik magát az információkezelési műveleteket. Ezek korábban már meghatározásra kerültek. A repülési műveletekkel összefüggésben, illeszkedve a repülés időbeliségéhez összesen 22 funkció került meghatározásra, melyek részletesen a forrásul szolgáló dokumentumokban találhatóak [1][2][3][4]. Ezeket összesítve a 2. táblázat tartalmazza.

Időbeliség	Jelölés	Funkció
Repülés előtti tevékenységek	F ₁	Nyilvántartásba vétel
	F ₂	Statikus geofencing
	F ₃	AIS szolgáltatás
	F ₄	Felhasználói regisztráció
	F ₅	Repülési művelet bejelentése
	F ₆	Repülési művelet engedélyezése
Repülés alatti tevékenységek	F ₇	Meteorológiai szolgáltatás
	F ₈	Dinamikus geofencing
	F ₉	Felderítés
	F ₁₀	Azonosítás
	F ₁₁	Két- és többirányú kommunikáció
	F ₁₂	Telemetriai adatkezelés
	F ₁₃	Valósídejű navigációs támogatás
	F ₁₄	Valósídejű forgalmi információszolgáltatás
	F ₁₅	Repülési konfliktusok forgalmi támogatása
	F ₁₆	Vészhelyzet-kezelés
	F ₁₇	UTM-ATM interfész / adatcsere
	F ₁₈	Flotta menedzsment
	F ₁₉	Repülésműveleti adatok rögzítése
	F ₂₀	Repülési szabályok betartásának ellenőrzése
Repülés utáni tevékenységek	F ₂₁	Repülésműveleti adatok elemzése
	F ₂₂	Szankcionálás

2. táblázat UTM SoS funkciói [saját forrás]

Adatcsoportok (D_n^i)

A kezelt adatokat a rendezettség és a kezelhetőség érdekében a tartalom és az időbeli érvényesség alapján csoportosítottam. Ennek eredményét a 3. táblázat tartalmazza. A táblázat terjedelmi korlátok miatt mélységében nem tartalmazza az összes adatot. A csoportosítás által a hasonló, de mégis eltérő tartalmat leképező adatok együttesen kezelhetők.

Adatok jelölése:

- n jelöli az adatcsoport sorszámát;
- i a dinamikát.

Adatcsoportok:

- **nyilvántartási adatok:** nyilvántartásba vétellel kapcsolatos adatok, melyek kiterjednek a folyamatra és a folyamat tárgyát képező berendezésekre és személyekre is;
- **felhasználói adatok:** UAV operátorok adatai, melyek a repülési művelettel kapcsolatosak;
- **AIS adatok:** léginnavigációhoz szükséges legfontosabb légiforgalmi információkat tartalmazó adatok (szabályok, eljárások és egyéb információk az adott működési környezetben – légtérben – közlekedő légitáncművek számára);
- **légi infrastruktúra adatok:** légi infrastruktúra alapvető adatai, melyek leírják az UAV-k által érintett működési környezetet, és melyek alapján az UAV-kkel végrehajtott műveletek tervezhetővé válnak;
- **repülési / műveleti terv adatok:** a repülési tervekhez hasonló leíró adatok, melyek tartalmazzák az UAV-kkal végrehajtandó repülési feladat részleteit;
- **forgalmi adatok:** az UAV-k és a hagyományos légitáncművek hatékony forgalmi menedzsmentjét biztosító pozíció adatok, melyek aktuális és előrebecsült állapotinformációk alapján képezhetőek. Az adatok a felderítő berendezésektől függetlenül érhetőek el;

	<i>statikus adatok</i>	<i>féldinamikus adatok</i>	<i>dinamikus adatok</i>	<i>valósídejű adatok</i>
nyilván- tartási adatok	D_1^s	D_1^{sd}	D_1^d	D_1^{rt}
	eljárások, központi adatbázis meta adatai	nyilvántartásba vett berendezések és személyek adatai (UAV típusa, regisztrációs azonosítója, felszereltsége, operátorok jogosítási adatai stb.)		
felhaszná- lói ada- tok	D_2^s	D_2^{sd}	D_2^d	D_2^{rt}
	UAV-k operatív üzemeltetésében résztvevők személyes alapadatai	operatív UAV üzemeltetésében résztvevők elérhetőségi és értesítési adatai, kezelt UAV-k és UAV-operátor összerendelési adatok, jogosítások		
AIS ada- tok	D_3^s	D_3^{sd}	D_3^d	D_3^{rt}
törvényi szabályozás, szabályok, AIP publikációk, kapcsolattartási adatok	eljárások, előre tervezett korlátozási adatok	NOTAM, meteorológiai adatok stb.		
légi infra- struktúra adatok	D_4^s	D_4^{sd}	D_4^d	D_4^{rt}
	légterek, leszállóhelyszínek és szektorok alapadatai, előzetes kapacitásadatok, stratégiai légtérkezelési adatok, stratégiai légtér felhasználási tervadatok, akadályadatok	statikus geofencing adatok, térképi adatok, tervezett légtérkorlátozások	előrejelzett és valós szektorterhelési adatok, korlátozások, előre jelzett és valós szektorizációs adatok, előzetes és aktuális légtér-felhasználási adatok (igények és foglalások)	dinamikus geofencing, ütközés elkerülési adatok
repülési / műveleti terv ada- tok	D_5^s	D_5^{sd}	D_5^d	D_5^{rt}
művelettervezési eljárások adatai			bejelentett, engedélyezett műveleti adatok, végrehajtási adatok, művelet végrehajtásával kapcsolatos térbeli és időbeli adatok	
forgalmi adatok	D_6^s	D_6^{sd}	D_6^d	D_6^{rt}
			várható forgalmi állapot adatok, aktuális UAV és hagyományos légitársaság pozícióadatok, korlátozások	aktuális UAV és hagyományos légitársaság pozícióadatok, konfliktus előrejelzési adatok, vészhelyzet-kezelési adatok
repülés műveleti adatok	D_7^s	D_7^{sd}	D_7^d	D_7^{rt}
			teljesítmény adatok, szenzor adatok, képek, videók stb., pontos aktuális pozíció adatok, környezeti adatok (szél, nyomás, hőmérséklet, akadályok, egyéb észlelt légtér-felhasználók), fedélzeti berendezések adatai stb.	
berende- zés ada- tok	D_8^s	D_8^{sd}	D_8^d	D_8^{rt}
	repülési műveletet támogató berendezések alap adatai (típus, hely stb.)	TMK adatok, üzemeltetési paraméterek, korlátozások, várható szolgáltatás kiesések stb.	aktuális üzemi paraméterek, működést monitorozó adatok, szolgáltatások elérhetőségi adatai, elérhetőséget korlátozó jelenségek előrejelzett és aktuális adatai stb.	
kényszer- helyzeti adatok	D_9^s	D_9^{sd}	D_9^d	D_9^{rt}
	kényszerhelyzeti eljárások leíró adatai	kényszerhelyzeti tervek		kényszerhelyzeti műsorszórási adatok, irányításba történő beavatkozási adatok, forgalmi elsőbbségi adatok stb.
felderítési adatok	D_{10}^s	D_{10}^{sd}	D_{10}^d	D_{10}^{rt}
	felderítési infrastruktúra alapadatai	TMK adatok, üzemeltetési paraméterek, korlátozások, várható szolgáltatás kiesések stb.	radaradatok, pozícióadatok, radarazonosításhoz szükséges adatok, infrastruktúra működésével összefüggő státuszadatok stb.	
hatósági adatok	D_{11}^s	D_{11}^{sd}	D_{11}^d	D_{11}^{rt}
eljárások, hatósági meta adatok	szankcionálási és szabály- sértési adatok	ellenőrzési adatok, megfigye- lési adatok, bizonyítékok stb.		

3. táblázat UTM SoS adatsoportok [saját forrás]

- **repülés műveleti adatok:** repülés végrehajtása közben keletkező műveleti adatok, melyek az adott művelettel állnak összefüggésben és a művelet céljától függően változó lehet. Telemetriai adatok, UAV-k esetén kiegészítve a pozíció adatokkal, melyek leírják az aktuális működési környezetet;
- **berendezés adatok:** UAV-ekkel végrehajtott repülésekhez szükséges fedélzeten kívüli berendezések (navigáció, vezérlés, irányítás, kommunikáció) adatai, melyek alapján eldönthető, hogy a feladat végrehajtásához szükséges infrastruktúra működése megvalósul-e vagy sem;
- **kényszerhelyzeti adatok:** különleges kezelést igénylő helyzetekkel (kényszerhelyzet, speciális elsőbbséget igénylő helyzetek stb.) összefüggő eljárási, forgalmi, műveleti adatok;
- **felderítési adatok:** felderítő infrastruktúrával és annak működésével összefüggő adatok, melyek a felderítéshez és radarazonosításhoz kapcsolódnak;
- **hatósági adatok:** hatósági felügyelethez és ellenőrzésekhez szükséges adatok összessége, mely alapján az ellenőrzések lefolytathatóak, illetve azok eredménye rögzíthető.

Dinamika (i):

- *S* statikus adatok (hosszabb időn át változatlanok, érvényességük időbeli állandósága a repülés során nagyobb, vagy egyenlő, mint egy AIRAC ciklus);
- *SD* féldinamikus adatok (tartalmazhatnak gyakrabban változó tartalmakat is, így ezek időbeli állandósága egy AIRAC ciklus és néhány óra között változhat);
- *D* dinamikus adatok (jóval kisebb időbeli állandósággal rendelkező adatok, melyek akár másodpercenként is változhatnak);
- *RT* valós idejű adatok (folyamatosan változó adatok).

Funkcionális részrendszerek

A teljes funkcionalitást biztosító UTM rendszer-együttes több különálló részrendszer folyamatos együttműködése eredményeként biztosítja a szolgáltatást [3][4][8][9]. A részrendszerek egy-egy funkció megvalósítását támogatják.

Az alkalmazott rendszerek két fő csoportra és azon belül több funkcionális alegységre bonthatóak:

- műszaki infrastruktúra (automatikusan, humán beavatkozás nélkül működő rendszerek, melyek az UTM szolgáltatást biztosítják infrastruktúra oldalról):
 - kommunikációs infrastruktúra: minden komponens között jelen van, a teljes UTM szolgáltatás legalapvetőbb része, nélküle a szolgáltatás nem tudna működni. Biztosítja az adatátvitelt;
 - navigációs infrastruktúra: ahhoz szükséges, hogy az UAV-k tájékozódni tudjanak a légtérben;
 - felderítést biztosító infrastruktúra: biztosítja, hogy a pozícióadatok rendelkezésre álljanak az UAV-kről, függetlenül attól, hogy a légi jármű ad-e magáról helyzetinformációt vagy sem;
 - AIS infrastruktúra: a repülési műveletek végrehajtásához szükséges légiforgalmi tájékoztatási információkat biztosító rendszer;
 - meteorológiai infrastruktúra: a repülési műveletek végrehajtásához szükséges időjárási adatokat biztosító rendszer;

- ATM rendszerrel való kapcsolatot biztosító platform: az UTM rendszer-együttessel kölcsönösen megosztja a releváns repülési adatokat. Így megvalósítható a biztonságos elkülönítés a hagyományos légitársaságok és az UAV-k között.
- ➔ Működést támogató részrendszerek (emberi közreműködést igénylő rendszerek, a rendszerek által kínált szolgáltatások humán közreműködés nélkül nem megvalósíthatóak):
 - pilóta nélküli légitársaság rendszer: magában foglalja az UAV-t, az operátort és a vezérléséhez (jármű reptetéséhez) szükséges infrastruktúrát;
 - nyilvántartási (felhasználói és légitársaság adatokat tartalmazó) rendszer: állami nyilvántartási adatbázis;
 - forgalmi menedzsmentet biztosító rendszer: összekapcsolja a felhasználókat, így gyűjti, feldolgozza és megosztja a repüléssel kapcsolatos összes adatot, mely alapján a repülésbiztonság fokozható;
 - hatósági / állami információs rendszerek.

A biztonságos üzem érdekében a kulcsfontosságú elemek megfelelő redundanciával rendelkeznek a maximális rendelkezésre állás érdekében.

A felhasználók által végzett információkezelési műveletek ismeretében azonosítottam a kezelt adatokat, amelyeket az információszerkezeti mátrix tartalmaz. A mátrix struktúráját a 4. táblázat szemlélteti. A táblázat sorfejlécei a felhasználókat és a funkciókat mutatják. A függőleges oszlopok cellái az egyes felhasználók által ellátott funkcióhoz kapcsolódóan a kezelt információkat tartalmazzák adatszoportokba sorolva. A mátrix cellái a kezelt rész adatszoportokat tartalmazza. Attól függően, hogy egy adott felhasználó esetén egy bizonyos funkció nem elérhető, úgy a mátrix cellái üresek is lehetnek. A futó index (i) minden egyes komponens esetén 1-től n -ig terjed. n értéke minden összetevő esetén más értéket vesz fel és a modell részletességétől függ, illetve a modell rugalmasságától függően a jövőben ez szabadon növelhető, így bővítve az egyes komponenseken belüli részletességet. Az 1., 2. és 3. táblázatban szemléltetett felosztás egy kezdeti megvalósítás a jelenleg azonosított komponensek és a jelenleg elérhető műszaki fejlettség alapján.

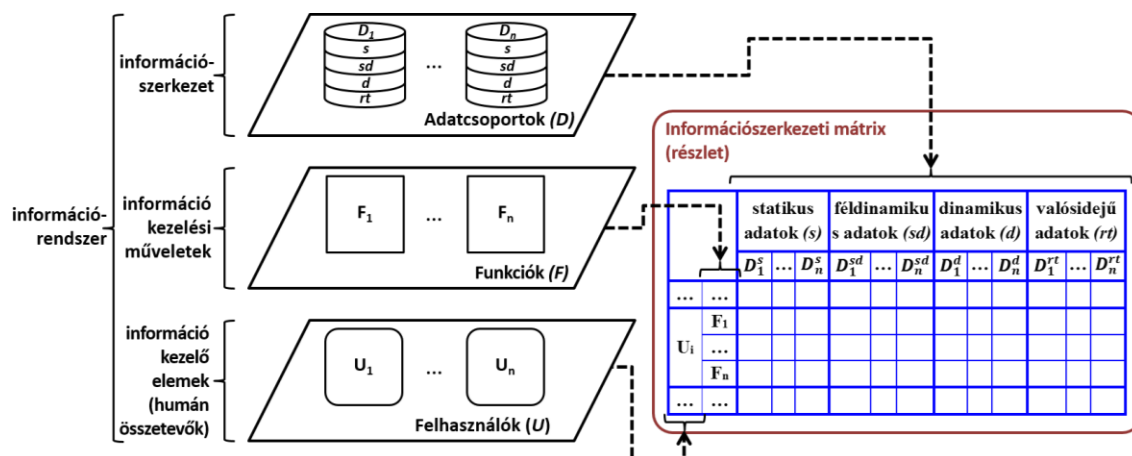
Felhasználó	Funkció	statikus adatok	féldinamikus adatok	dinamikus adatok	valósítható adatok
U_i	F_i	D_i^s	D_i^{sd}	D_i^d	D_i^{rt}
U_1	F_1				
	...				
	F_n				
...	F_1				
	...				
	F_n				
U_n	F_1				
	...				
	F_n				

4. táblázat UTM SoS Információszerkezeti mátrix felépítése [saját forrás]

AZ INFORMÁCIÓSZERKEZETI MODELL

Az információszerkezeti modell a kezelt információk szerkezete az összetevők alapján. A modell egy mátrix reprezentációjában mutatja meg, hogy felhasználónként és funkcióként milyen adatok rendelkezésre állása vagy kezelése szükséges.

A modell egy strukturált adatszerkezet, az UTM szolgáltatáshoz kapcsolódóan kezelt információk azonosítása és csoportosítása érdekében. A mátrix cellái a kezelt információkat tartalmazzák (2. ábra). A gépi rendszerek által végzett információkezelési műveletek ismeretében a mátrixban megjeleníthetők a gépi rendszerek is a kezelt információkhoz kapcsolva, második dimenzióban, mint negyedik szempont.



2. ábra Az UTM szolgáltatás információszerkezeti modellje [saját forrás]

ÖSSZEFOGLALÓ

A pilóta nélküli légitársaságokkal végrehajtott repülési műveletek biztonságos lebonyolítása érdekében szükséges, hogy az UTM felhasználói közösség integrált módon, kellő mélységig férjen hozzá a szükséges adatokhoz. Az integrált adatkezeléssel növelhető a hatékonyság (csökken a bizonytalanság, információk megszerzésének ideje), így a repülésbiztonság növelhető.

A kialakított modell segítségével az információk integrált kezelése megvalósítható, így biztosítva az iparági szereplők közötti gyors és költséghatékony információáramlást. Az integráció időszükséglete jelentős, és számos lépésből áll, amelynek első fázisához járul hozzá a kialakított információrendszeri modell.

A jövőben megjelenő, ma még tervezés alatt álló új, 5. generációs kommunikációs megoldások jelentős módon hozzájárulnak az ágazat sikeréhez, ugyanis annak működése az adatok rendezett áramlásán alapszik. Mindezek lehetővé teszik az adatgyűjtési helyszíntől távoli feldolgozást is, és a felhő alapú szolgáltatások fokozódó elterjedését is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Prevot et. al (2016a): Thomas Prevot, Joseph Rios, Parimal Kopardekar, John E. Robinson III, Marcus Johnson, and Jaewoo Jung. "UAS Traffic Management (UTM) Concept of Operations to Safely Enable Low Altitude Flight Operations". 16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, AIAA AVIATION Forum, (AIAA 2016-3292) <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2016-3292>
- [2] Kopardekar (2014): Parimal Kopardekar: Unmanned Aerial System Traffic Management (UTM): Enabling Low-altitude Airspace and UAS Operations, NASA TM-2014-218299 (2014) <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20140013436.pdf>
- [3] UTM Global (2017): Global UTM Association – UAS Traffic Management Architecture 2017. April https://www.utm.aero/docs/Global_UTM_Architecture_V1.pdf
- [4] Sándor (2017): SÁNDOR, Zsolt: Challenges caused by the unmanned aerial vehicle in the air traffic management. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 2017. ISSN 1587-3811. doi: <https://doi.org/10.3311/PPtr.11204>
- [5] C.A. Wargo, Corey Snipes, Alope Roy, Robert J. Kerczewski: UAS industry growth: Forecasting impact on regional infrastructure, environment, and economy. Conference: 2016 IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference (DASC) DOI: 10.1109/DASC.2016.7778048
- [6] FAA Forecast (2017): FAA Aerospace Forecast, Fiscal Years 2017-2037 https://www.faa.gov/data_research/aviation/aerospace_forecasts/media/FY2017-37_FAA_Aerospace_Forecast.pdf
- [7] Parker D. Vascik and Jaewoo Jung: Assessing the Impact of Operational Constraints on the Near-Term Unmanned Aircraft System Traffic Management Supported Market. 16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, AIAA AVIATION Forum, (AIAA 2016-4373) <https://doi.org/10.2514/6.2016-4373>
- [8] Gupta et. al (2013): Suraj G. Gupta, Mangesh M. Ghonge, Dr. P. M. Jawandhiya: Review of Unmanned Aircraft System (UAS). International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) Volume 2, Issue 4, April 2013 ISSN: 2278 –1323
- [9] Report Joseph L. Rios et. al: NASA/TM—2017–219494 UTM Data Working Group Demonstration 1 Final. Ames Research Center 2017.
- [10] DoD (2011): Department of Defense: Unmanned Aircraft System Airspace Integration Plan, March 2011 UAS Task Force Airspace Integration Integrated Product Team.
- [11] T. Spriesterbach, K. Burns, L. Baron, and J. Sohlke: Unmanned aircraft system airspace integration in the national airspace using a ground-based sense and avoid system. Johns Hopkins APL, Technical Digest Vol. 32, No. 3, 2013. http://www.lcis.com.tw/paper_store/paper_store/32_03-spriesterbach-2015425212823468.pdf
- [12] UTM Special (2017): UTM Special Report – Urban Planning. Air Traffic Management Magazine. Issue 1 2017. pp. 30-33. ISSN: 0969-6725
- [13] SÁNDOR, Zsolt. Functional Modelling of the Air Traffic Control and the Integration Perspectives of the Integrated Services. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, v. 45, n. 3, p. 107-118, 2017. ISSN 1587-3811. doi: <https://doi.org/10.3311/PPtr.9270>
- [14] Z. Sándor and C. Csiszár, "Modelling and analysis methods of integrated information systems of transportation," 2015 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), Budapest, 2015, pp. 348-355. doi: 10.1109/MTITS.2015.7223278
- [15] Valavanis and Vachtsevanos (2015): Kimon P. Valavanis, George J. Vachtsevanos: Handbook of Unmanned Aerial Vehicles 2015, ISBN: 978-90- 481-9706- 4

MODEL OF THE SYSTEM OF INFORMATION FOR THE TRAFFIC MANAGEMENT OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

The traffic management of unmanned aerial vehicle (UAV) can be successful if the data are available in order to determine the actual and future position of the vehicles. With these data the operations of UAVs can be suit to the conventional airspace users. Data generated by the different users groups and the information management operations of the traffic management systems are contribute to the increase of the safe operations of the whole air transportation system. These data and the applied data structure, which support the operation of the management system are discovered in this article.

Keywords: *unmanned aerial vehicles, air traffic management, drones, information system, system of information, air traffic control, planning of flight operations*

Sándor Zsolt (PhD.)
okleveles közlekedésmérnök, közlekedési szakértő
zsolt.sandor1@gmail.com
orcid.org/0000-0001-7117-9069

Zsolt Sándor (PhD.)
certified traffic engineer, traffic specialist
zsolt.sandor1@gmail.com
orcid.org/0000-0001-7117-9069



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-13-0417_Sandor_Zsolt.pdf

Török Ágnes

A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK LÉGTÉRBE INTEGRÁLÁSA

A pilóta nélküli légi járművek népszerűsége az utóbbi években rohamosan megnövekedett annak köszönhetően, hogy felhasználási lehetőségeiknek szinte csak a képzelet szab határt. A pilóta nélküli légi járművekben rejlő lehetőségek kiaknázásához azonban ezeknek az eszközöknek a mielőbbi légtérbe integrálása szükséges, ennek megvalósításához pedig nélkülözhetetlen egy olyan szabályrendszer kialakítása, amely biztosítja, hogy a hagyományos légi járművekkel egy légtérben történő repülés esetén sem csökken a repülésbiztonság szintje. Az integrálás legkézenfekvőbb módja egy olyan légiforgalmi irányítási rendszer megalkotása, amely kifejezetten a pilóta nélküli légi járművekkel végrehajtott repüléseket hivatott kiszolgálni.

Kulcsszavak: pilóta nélküli légi jármű, integrálás, légtér, autonóm, UTM

KIHÍVÁSOK

Nemzetközi háttér

A pilóta nélküli légi járművekről a nemzetközi egyezmények közül elsőként a Chicagói Egyezmény rendelkezik, amelynek 8. cikke kimondja, hogy minden olyan eszközt, amely alkalmas a pilóta nélküli repülésre, pilóta nélküli légi járműnek kell tekinteni. A cikk rendelkezik arról is, hogy a Szerződő Államok felett a pilóta nélküli légi járművek az Államok egyedi engedélye alapján az engedélyben foglaltak betartásával repülhetnek. Az Egyezményhez csatlakozott országok ezzel a rendelkezéssel felhatalmazást kaptak arra, hogy ezeknek az eszközöknek a működtetését saját hatáskörben szabályozzák. Az Európai Unió és a Tagállamok közötti légiközlekedés szabályozásával kapcsolatos hatáskörök megosztását jelenleg az Európai Parlament és a Tanács 216/2008/EK rendelet 2. melléklete tartalmazza, amely azonban arról rendelkezik, hogy csak a 150 kg alatti pilóta nélküli légi járművek szabályozása tartozhat tagállami feladatok közé [1][2].

A pilóta nélküli légi járművek polgári, főleg hobbi célú alkalmazásban már a második világháború után megjelentek, az ezekkel az eszközökkel végrehajtott repülések szabályainak kidolgozása viszont csak a 2000-es évek elejétől figyelhető meg. Ezeket az eszközöket a sorozatgyártás mellett a gyakran változó konstrukció és kialakítás jellemzi, amely párosult a szinte azonnali hozzáférhetőség lehetőségével, eredményezve ezzel a legkülönbözőbb eszközök tömeges piaci jelenlétét és felhasználását. A tagállamok felismerték, hogy ezen okok miatt nem alkalmazhatók ugyanazok az irányelvek a szabályok megalkotásakor, mint a hagyományos légi járművekkel végzett repülések esetében, így teljesen más szemléletmódban fogalmazódtak meg a követendő alapelvek. A repülésben megszokott, úgynevezett légi jármű központú szabályrendszert a kockázatalapú megközelítés váltotta fel, amelynek lényege, hogy a követelményeket a repülések által a légiközlekedésre vett kockázatok alapján kell meghatározni, továbbá figyelembe kell venni a földön tartózkodó személyek biztonságát is. Minél nagyobb a kockázat, vagyis a lehetséges esemény súlyossága és az esemény előfordulásának gyakorisága, annál szigorúbb feltételeknek kell a pilóta nélküli légi járműveknek és az eszközöket vezető személyeknek megfelelniük. A nemzeti szabályozások ennek az újonnan kialakult megközelítésnek köszönhetően több pontban is hasonlóságot

mutatnak, azonban valamennyi tagállam igyekezett olyan speciális előírásokat kialakítani, amelyek illeszkednek az ország repülési szabályaihoz és társadalmi szokásaihoz, így mégis minden országban eltérő követelmények vonatkoznak ugyanarra a repülésre. A nemzeti szabályozások sokszínűsége miatt nem csak az átlagos felhasználók számára jelent nehézséget azok betartása, mert nehezen ismerhető meg az adott országban érvényes eljárás, hanem a gyártók számára is kihívást jelent az országoként eltérő szabályozási rendszernek való megfelelés.

A technológiai fejlődésnek köszönhetően egyre szélesebb körben és nagyobb számban alkalmazták ezeket az eszközöket, ugyanakkor a jogszabályi környezet nem képes követni ezt a rohamosan fejlődő iparágat, így a megfelelő jogi háttér és a használatukra vonatkozó részletes szabályozás hiánya miatt nem csak repülésbiztonsági aggályok merülhetnek fel, hanem a földön tartózkodó személyeket és vagyontárgyakat is veszélyeztethetik.

Ezekre a kihívásokra jelenthet megoldást az Európai Unió stratégiája, amelynek része a pilóta nélküli légi járművekre vonatkozó, súlyhatár nélküli egységes szabályrendszer kialakítása. Európa mellett világszerte felismerték a pilóta nélküli légi járművekben rejlő gazdasági potenciált, így az Európai Unió mellett az ICAO¹ is felhívta a Szerződő Államok figyelmét arra, hogy ezeknek az eszközöknek a légtérbe integrálása nélkülözhetetlen a bennük rejlő lehetőségek kiaknázásához [3].

A pilóta nélküli repülés sajátosságai

A hagyományos légi járművek közé történő integrálás azonban számos légiközlekedéssel kapcsolatos kérdést felvet. A légi járművek oldaláról vizsgálva elmondható, hogy ezek az eszközök a légiközlekedésben résztvevő többi légi járművel ellentétben nem rendelkeznek típusalkalmassági bizonyítvánnyal, ennek a dokumentumnak a hiányában pedig nem állítható, hogy megfelelnek az eszközökkel szemben támasztott műszaki követelményeknek, hiszen ilyen jellegű előírások jelenleg még nem kerültek kidolgozásra. A légi alkalmassági követelmények hiánya miatt pedig azt sem mondható el, hogy ezek az eszközök alkalmasak lennének a biztonságos légiközlekedésre. A várhatóan néhány éven belül bevezetésre kerülő egységes szabályozás a tervek szerint a repülések túlnyomó többségét nem fogja bonyolult hatósági engedélyeztetési eljárásokhoz kötni, ugyanakkor meghatározza a gyártók számára kötelezően követendő normákat és a pilóta nélküli légi járművek fedélzetére szerelendő eszközöket. Ezzel a megoldással kiküszöbölhető a légiközlekedésben ismert tanúsítványok szükségessége, azonban az eszközök működtetése elfogadható kockázatot jelenthet a légtér más felhasználóira és a földön tartózkodó személyekre egyaránt.

A repülésbiztonságot felhasználói oldalról közelítve az emberi tényező hatásának vizsgálata kiemelt figyelmet igényel. A hagyományos légiközlekedésben az emberi tényező a légi jármű vezető, a karbantartó, valamint légtérszálytól függően a légiforgalmi irányító vagy a repüléstájékoztató személyében jelenik meg, azonban a pilóta nélküli légi jármű vezető ritkán kommunikál a légiforgalmi szolgálattal, ezért az utóbbi személyéből eredő veszélyforrások elhanyagolhatónak tekinthetők. Ebből adódóan tehát elegendő csak a pilóta nélküli légi jármű vezető és a karbantartó személy viselkedését elemezni, amely a tömeges felhasználás esetében jellemzően ugyanaz a személy.

¹ ICAO: Civil Aviation Organization - Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet

Azokban az esetekben, amelyek során a pilóta nélküli légi jármű vezető manuálisan működteti az eszközt leginkább a hibás döntések azok, amelyek a repülés biztonságát negatív irányba képesek befolyásolni. Ezek legfőbb oka, hogy a felhasználók nem rendelkeznek kellő ismerettel az eszköz paramétereire és a repülés körülményeire vonatkozóan, ugyanakkor megjelenik egy, a légiközlekedésben eddig még nem ismert jelenség, hogy a felhasználókban – mivel nem tartózkodnak ténylegesen a fedélzeten – a légi jármű vezetői felelősség nem jelenik meg olyan mértékben, mint a hagyományos légi jármű vezetők esetében. A pilóták esetén a felelősségtudat jellemzően automatikusan alakul ki, köszönhetően a gyakorló repüléseknek és az életösztönek, azonban a pilóta nélküli légi jármű vezetők esetében a repülések teljesen más nézőpontból kerülnek végrehajtásra. Ez alatt értendő, hogy a felhasználók akár játéknak is tekinthetik az eszközt és ezáltal sokkal bátrabban és merészebben viselkednek, nem veszik figyelembe az eszközre vonatkozó, gyártó által meghatározott követelményeket. Ezek a *játékok* azonban légi járművek és a jövőbeni integráció megvalósításához más szemléletmód szükséges. Belátható, hogy az emberi tényezőt és a hibás döntésekből eredő kockázatokat hosszú távon ki kell küszöbölni, amelyet legegyszerűbben úgy tehetünk meg, ha a folyamatból elhagyjuk az embert, vagyis a lehető legtöbb esetben az automatizmusra törekszünk, vagy indokolt esetben az automatizmus által felülbíráljuk az ember által hozott hibás döntést.

A hagyományos légiközlekedéshez hasonlóan a jelenlegi fejlesztési irányok a pilóta nélküli légi járművekkel végrehajtott repülések esetében is egyértelműen azt mutatják, hogy azokat az eseteket, amelyek során az emberi döntés következményei repülőeseményhez vezethetnek, az embert egyáltalán nem, vagy csak a szükséges mértékben engedjük beavatkozni. Erre példa lehet, hogy egy kényszerhelyzeti eljárás lerepülése során a felhasználó csak nagyon minimálisan korrigálhatja az eszköz irányát és annak sebességét. Az említett eljárás egyértelműen az autonóm pilóta nélküli légi járműveket helyezi előtérbe és arra enged következtetni, hogy a jövőben olyan eszközöket fogunk használni, amelyek a felszállástól a leszállásig a repülés teljes időtartama alatt emberi beavatkozás nélkül képesek lesznek feladatukat önállóan végrehajtani. Természetesen teljesen autonóm nem lehet minden feladat, például olyan vizsgálat esetében, ahol az észlelés eredménye határozza meg a következő feladatot, az emberi döntés a folyamatban megmarad, de a légtérben történő mozgás lehet autonóm vagy automatizmus által felügyelt.

Az autonóm repülések biztonságos végrehajtásához és azok elterjedéséhez azonban egy olyan magasfokú automatizált irányítási rendszer, vagyis a pilóta nélküli légi járművek légiforgalmi szolgáltatását biztosító rendszer (UTM²) kialakítása szükséges, amely a légi járművek elkülönítésével lehetővé teszi a légtér tradicionális és pilóta nélküli repülés céljára történő vegyes felhasználását.

UTM

Az UTM célja a pilóta nélküli légi járművek irányítása úgy, hogy a rendszer biztosítja az eszközök egymástól, a többi légtérfelhasználótól, a földön tartózkodó személyektől és az akadályoktól való elkülönítését annak segítségével, hogy a rendszer minden repülésre ható körülményt lehetőleg valós időben vesz figyelembe. Az UTM egy felhőalapú légiforgalmi irányítási

² UTM: Unmanned Aerial System (UAS) Traffic Management - pilóta nélküli légi jármű rendszerek forgalmi menedzsmentje

és szolgáltatási rendszerként határozható meg, amelyhez a pilóta nélküli légi járművek és az azokkal kapcsolatban álló valamennyi érintett fél hozzáférhet. Az UTM rendszer működését tekintve hasonló, mint a hagyományos légi közlekedésben már ismert eljárás: a felszállástól a leszállásig az UTM folyamatos irányítást és felügyeletet nyújt a repülés teljes időtartama alatt. A felhasználók elsősorban a pilóta nélküli légi járművek, ugyanakkor a megfelelő működés megkívánja a hatóságok, a gyártók, az üzemben tartók, az ATM³ és a jogalkotó közötti együttműködést, amelynek leginkább a hatékony adatcsere tekintetében kell megvalósulnia [4].

Azonosítás

Az UTM egyik alapkövetelménye, hogy minden pilóta nélküli légi jármű azonosítható legyen, amely a rendszerhez kapcsolódik. Az eszközök regisztrálása bizonyos súlyhatár, jellemzően 250 gramm felett már több országban kötelező. A regisztráció célja, hogy az eszközöket egyértelműen az üzemben tartóhoz lehessen rendelni, továbbá az eszközzel kapcsolatos további információk megadása is kötelező, például a felszálló tömeg vagy az eszköz rendeltetése. A pilóta nélküli légi járművek esetében a regisztráció a légi közlekedésben megszokottaktól eltér, ez alatt nem a hagyományos értelemben vett lajstromozást vagy az eszközök nyilvántartásba vétele értendő, hanem egyre inkább kezd elterjedni az online regisztráció, amely jelentősen megkönnyíti a felhasználók és a hatóságok feladatát. A gyártók a mellékelt használati útmutatókban felhívják a figyelmet arra, hogy az eszközöket az egyes országokban a hatályban lévő jogszabályoknak megfelelően regisztrálni kell, azonban egyre gyakoribb, hogy megkövetelik a felhasználóktól a saját rendszerükben történő regisztrálást is. Ez nem csak egy esetleges nyomozás vagy kivizsgálás során eljáró hatóságoknak jelenthet segítséget, ahol az országban még nem lehetséges vagy nem kötelező az eszközökről nyilvántartást vezetni, hanem egyfajta visszajelzésként is funkcionál, hiszen az eszközök egyre több repülési adatot képesek tárolni és szolgáltatni a gyártó felé. Ezáltal az érintett gyártó tudomást szerez a repülések során előforduló hibákról és azok bekövetkezésének gyakoriságáról, így felismerhető egy-egy hibás konstrukció vagy szoftverhiba.

Adatcsere és kommunikáció

Az UTM működésének egyik alappillére a légiforgalmi adatok gyűjtése és azok feldolgozása. A légi közlekedésben statikus adatok is előfordulnak, például az AIP⁴-ben található információk, valamint ide tartoznak a pilóta nélküli légi járművekkel kapcsolatos paraméterek is, amelyeket a rendszerbe történő regisztráláskor kell megadni. A viszonylag ritkán, legfeljebb AIRAC⁵ ciklusonként változó adatok mellett a dinamikus adatokkal is számolni kell, ezeket a naponta akár többször is frissülő NOTAM⁶-ok tartalmazzák, azonban a légiforgalom pillanatnyi helyzetéről szóló információk, például az egyes légtérek tényleges működése közvetlenül csak a légiforgalmi szolgálattól tudhatók meg. A légiforgalmi adatok UTM-be történő továbbítása érdekében nem csak az UTM és az ATM, hanem az üzemeltetők, a gyártók és minden olyan szereplő közötti folyamatos adatcsere biztosítása szükséges, akik olyan információkkal rendelkeznek, amelyek hatással lehetnek a biztonságos légi közlekedésre. Ez alatt értendők például azok a szolgáltatók, akik az akadályadatbázis létrehozásáról és annak naprakészen tartásáról gondoskodnak.

³ ATM: Air Traffic Management – Légiforgalmi szolgáltatás

⁴ AIP: Aeronautical Information Publication – Légiforgalmi tájékoztató kiadvány

⁵ AIRAC: Aeronautical Information Regulation And Control

⁶ NOTAM: Notice to Airmen

Az UTM-ben nem csak a hazai jog szerinti állandó és eseti légtereket kell megkülönböztetni, hanem a légiforgalmi adatok közé sorolandók azoknak a légtereknek az adatai, amelyekbe csak a pilóta nélküli légi járművek nem repülhetnek be. Az ezekben a légterekbe történő berepülést megakadályozó technológiai az úgynevezett virtuális-kerítés, amelyet egyelőre még sem a nemzetközi, sem a hazai jogszabályok nem értelmeznek, azonban – az egységes Európai Unió szabályrendszernek való megfelelésre készülve – a nagyobb gyártók már most olyan szoftveres korlátozást programoznak a pilóta nélküli légi jármű rendszerekbe, amelyek megakadályozzák, hogy az eszközök olyan légtér részbe repülhessenek, ahová valamilyen okból korlátozást rendeltek el számukra. Ez a megoldás repülésbiztonsági szempontból előrelépést jelenthet, ennek alkalmazásával a forgalmasabb repülőterek környékére az eszközök gyári beállítás szerint nem repülhetnek be, továbbá ezeken a területeken felszállni sem képesek a korlátozás miatt. A későbbiekben az illetékes hatóságok védelmi és biztonsági okok miatt további, a pilóta nélküli légi járművek repülései előtt elzárt légtér részeket jelölhetnek ki, amelyek a kötelezően előírt időszakos frissítésekkel válnak a pilóta nélküli légi jármű rendszerek számára elérhetővé. Bizonyos gyártók már napjainkban is olyan korlátozásokkal látják el az eszközeiket, hogyha azok nem naprakész adatbázissal rendelkeznek, nem is szállhatnak fel.

A kommunikáció során az adatcserének gyorsnak, robusztusnak, biztonságosnak és mindenhol elérhetőnek kell lennie. Ezeknek az eszközöknek a távvezetése – vagyis a pilóta nélküli légi jármű és a munkaállomás közötti adatcsere – a polgári alkalmazásban általában a szabad frekvenciasávokon, jellemzően a 2,4 GHz-es és az 5 GHz-es tartományban valósul meg. Ez nem csak abból a szempontból jelent problémát, hogy számos más, közel azonos frekvencián működő, kis hatótávolságú eszköz egymás működését is zavarhatja, hanem a távolságok tekintetében is akadályt jelenthet. Az említett frekvenciasávokon történő működtetés a megengedett adóteljesítmény alkalmazása esetén a maximális hatótávolság legfeljebb néhány száz méter, amely drasztikusan csökkenhet, például lakott terület feletti repülés esetén. Olyan új technológiát kifejleszteni, amely kifejezetten a pilóta nélküli légi járművek és az UTM közötti adatcsere megvalósítását teszi lehetővé időigényes és nagyon költséges lehet, valamint frekvenciagazdálkodás szempontjából sem kivitelezhető egy frekvenciasáv kifejezetten erre a célra történő dedikálása.

A mobiltechnológia fejlődésének köszönhetően napjainkban nagysebességű adatátviteli módok állnak rendelkezésre, amelyek magassági korlátokkal ugyan, de hatalmas területeket fednek le szinte hiánytalanul. Az így kiépített infrastruktúra alkalmas lehet arra, hogy az UTM követelményeinek megfelelően teljesítse azokat az elvárásokat, amelyekkel a pilóta nélküli légi járműveket ki lehet szolgálni. A szélessávú mobilinternet megjelenésével gyorsan, megbízhatóan és hatékonyan tudunk nagy mennyiségű adatot továbbítani. Napjainkban egyre nagyobb teret hódítanak azok a pilóta nélküli légi jármű rendszerek, amelyek a 4G mobilhálózaton keresztül bonyolítják le az eszköz és a munkaállomás közötti kommunikációt. A mobilhálózat erre a célra történő dedikálása a közeljövőben kiküszöbölheti a szabadfrekvencián történő működtetéssel járó fizikai korlátokat, ennek segítségével pedig olyan új fejlesztési irányok és alkalmazási területek is megjelenhetnek, amelyekre a nagy távolságok miatt eddig nem volt lehetőség. A nagysebességű hálózatok fejlődését nézve azonban elmondható, hogy esetünkben, vagyis az UTM-mel való kommunikációt tekintve, valódi alternatívát a még tesztelés alatt álló 5G, valamint az ennél gyorsabb hálózatok jelenthetnek [5][6].

Összeütközések elkerülése

Az autonóm repülések során a pilóta nélküli légi járművek az előre beprogramozott útvonalat repülik le, az eszköz a hatótávolságától függően akár több kilométeres távolságra is eltávolodhat a felszállási ponttól. A repülés időtartama alatt az eszköz tehát jellemzően a kezelő személy látótávolságán kívül helyezkedik el, ezért a többi légi járműtől és akadályoktól való elkülönítést emberi beavatkozás nélkül szükséges megoldani.

A pilóta nélküli légi járművek összeütközésének elkerülését nagymértékben megkönnyíthetik azok a rendszerek, amelyek képesek arra, hogy érzékeljék a környezetükben lévő akadályokat, majd azok elkerülésére eljárást dolgozzanak ki, amely alapján az eszköz képes az elkerülő manővert végrehajtani. A tervezett repülési profiltól történő eltérést a rendszer naplózza. Ezek az úgynevezett S&A⁷ rendszerek, amelyek kifejezetten a pilóta nélküli légi járművekkel végrehajtott repülések biztonságát hivatottak elősegíteni. Az elmúlt években sokat fejlődött az – egyes gyártóknál már alapfelszerelésként megjelenő – elkerülést segítő technológia, a fedélzeti rendszer már nem csak arra képes, hogy a szenzorok érzékeljék a közelben lévő, akár több tíz méteres távolságban lévő akadályokat, hanem bizonyos sebességhatár alatti repülés esetén elkerülési eljárást dolgoz ki, ezt követően pedig ennek megfelelően történik a repülés.

A légtérbe integráláskor azonban nagyobb hangsúlyt kell fektetni ezeknek az eszközöknek az egymással és más légi járművel történő összeütközések megelőzésére. Érdekes az ATM rendszerben már használatban lévő technológiák alkalmazását alapul venni, amelyek alkalmasak lehetnek arra, hogy a pilóta nélküli légi járművekről a szükséges adatokat sugározzák a vevőberendezések felé. Tekintsük elsőként az ADS-B⁸, rendszert, amelynek előnye, hogy pozíció adatokat sugároz magáról és abban az esetben, ha egy másik légi járművön is megtalálható az ADS-B akkor a két adóvevő bizonyos távolságon belül képes egymást érzékelni és a rendszer akár képes is lehet a kikerülési eljárást kidolgozni. Hasonló elven működik a FLARM, azonban ez a rendszer már képes a hagyományos légi közlekedésben elterjedt transzponderek által S és C módban sugárzott jelek feldolgozására, így az a pilóta nélküli légi jármű, amely rendelkezik ezzel a berendezéssel, megfelelő elkülönítést tarthat azoktól a légi járművektől, amelyek fedélzetén transzponder található. Ezek a rendszerek önmagukban az összeütközések elkerülésére tökéletesen alkalmazhatók, azonban ezek a gyártóspecifikus eszközök a szabványok hiánya miatt nem minden esetben képesek együttműködni egymással, így az UTM-ben történő alkalmazáshoz a szabványosításig nem felelhetnek meg. Valódi alternatívát jelenthet az ACAS⁹ fejlesztés alatt álló verziója, az ACAS Xu, amelyet kifejezetten a pilóta nélküli légi járművek számára optimalizálnak. A szabványok meghatározására induló projekt 2016-ban kezdődött és várhatóan 2020-ra fejeződik be [7][8][9].

Az elkülönítés biztosítását hosszú távon, rendszerszinten szükséges kezelni, amelyet úgy lehet megvalósítani, hogy az UTM a pilóta nélküli légi járművek paramétereinek, az eszköz által sugárzott telemetriai adatoknak és a statikus, valamint dinamikus adatoknak a felhasználásával a rendszer automatikusan észleli az eszköz repülését keresztező akadályt vagy másik légi járművet, elkerülési eljárást dolgoz ki, majd továbbítja azt a légi jármű számára, amely ezt követően

⁷ S&A: Sense and Avoid

⁸ ADS-B: Automatic Dependent Surveillance – Broadcast

⁹ ACAS: Airborne Collision Avoidance System

végrehajtja az utasításokat. Az előzőekben felsorolt nem kooperáló fedélzeti eszközök önmagukban nem képesek biztosítani az elkülönítést, ugyanakkor redundáns rendszerként történő alkalmazásuk nélkülözhetetlen a pilóta nélküli légi járművek irányításban.

Helymeghatározás

Az UTM megfelelő működéséhez és a repülésbiztonság fenntartásához az ATM-hez hasonlóan elengedhetetlen a hatékony, a rendszer szempontjából gyors, pontos és megbízható helymeghatározás. A legtöbb pilóta nélküli légi jármű már rendelkezik műholdas helymeghatározó rendszerrel, amely Európában jellemzően az Amerikai Egyesült Államok által működtetett NAVSTAR GPS¹⁰ műholdak jeleinek vételét jelenti.

A polgári felhasználású célokra engedélyezett GPS mód hátránya azonban, hogy korrekciók nélkül a helymeghatározás pontossága akár több méteres hibával is terhelt. A pontosságára több tényező is hatással lehet, a mérés eredményét befolyásolhatják a légköri viszonyok, valamint a pilóta nélküli légi járművek alacsony magasságon történő működtetése esetén a természetes környezetről vagy a mesterségesen épített tereptárgyaktól visszaverődő reflexió. Az olyan helyekre történő berepülés esetén, ahol a műholdak jelenős részben vagy teljesen árnyékoltak, a technológia egyáltalán nem alkalmazható. A mérési hibák a magasság meghatározásánál a legjelentősebbek, akár több tíz méteres pontatlanságok is előfordulhatnak. Ez a jelenlegi pontosság azonban az UTM működéséhez a jövőben várhatóan nem lesz elégséges, hiszen a teljesen autonóm repülések esetében, például leszálláskor sokkal pontosabb helymeghatározásra és kisebb hibatűrésre lesz szükség. További szenzorok, például digitális képfeldolgozó rendszerek vagy távolságmérő érzékelők integrálásával nagymértékben javítható az elérhető pontosság és a rendelkezésre állás.

A pontosság javításának érdekében a fedélzeti oldalról megoldást jelenthet a hagyományos légi közlekedésben már régóta alkalmazott RAIM¹¹ technológia pilóta nélküli légi járművekben történő alkalmazása. A technológiát kifejezetten a GPS rendszert alkalmazó, biztonságkritikus műveletek megbízhatóságának növelésére fejlesztették ki, amely lehetővé teszi a GPS jelek integritásának ellenőrzését. A rendszer előnye, hogy megfizethető, hiszen új fedélzeti rendszer kifejlesztését nem igényli, így széleskörben alkalmazható a pilóta nélküli légi járművek tervezésekor és gyártásakor. A légi közlekedésben jelenleg a legmodernebb műholdas adatokon alapuló helymeghatározó rendszer pontosságát javító, műholdas megközelítési eljárásokat is kiszolgáló technológia az SBAS¹². Az optimális megoldást egy olyan fedélzeti egység alkalmazása jelentheti, amely kihasználja a RAIM és az SBAS által nyújtott előnyöket. Az Amerikai Egyesült Államokban már kapható az FAA¹³ által tanúsított FLYNAV, amely nagy pontosságú GNSS¹⁴ vevőt és RAIM processzort kombinál a GPS pontosságának javítása érdekében, az SBAS támogatásnak köszönhetően pedig akár centiméteres nagyságrendben képes korrigálni a GPS jeleket [10].

¹⁰ GPS: Global Positioning System

¹¹ RAIM: Receiver Autonomous Integrity Monitoring

¹² SBAS: Satellite Based Augmentation System

¹³ FAA: Federal Aviation Administration

¹⁴ GNSS: Global Navigation Satellite System

ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A pilóta nélküli légi járművek felhasználása az utóbbi néhány évben rohamosan megnövekedett, azonban a jogszabályi környezet még nem tudta teljes mértékben lekövetni ezt a napról napra fejlődő iparágat. Egyre többen és egyre szélesebb körben alkalmaznak pilóta nélküli légi járműveket, ugyanakkor az üzemeltetéssel, a gyártással és a hatósági eljárásokkal kapcsolatos előírások hiányosak, ezért működtetésük komoly kockázatot jelenthet a többi légtérfelhasználóra és a földön tartózkodó személyekre egyaránt. Belátható, hogy a jogszabályi háttér olyan módon történő tisztázása szükséges, amely rendelkezik az ezekkel az eszközökkel végrehajtott repülések szabályairól, valamint azokról a kötelezően beépítendő felszerelésekről is, amelyek biztosítják a repülések biztonságos végrehajtását.

A fejlődés iránya azt mutatja, hogy a fejlett fedélzeti rendszerrel ellátott pilóta nélküli légi jármű rendszerek egyre nagyobb teret hódítanak és előtérbe kerülnek azok az eszközök, amelyek képesek az előre beprogramozott útvonalat a kezelő személyzet beavatkozása nélkül lerepülni. Az emberi tényező magában hordozza a hibás döntés lehetőségét, azonban az emberi beavatkozás minimalizálása nagymértékben növelheti a repülésbiztonság szintjét. Az autonóm repülések elterjedéséhez mindemellett egy olyan automatizált irányítási rendszert szükséges kialakítani, amely az állandó és a folyamatosan változó valós idejű adatok gyűjtése és feldolgozása alapján képes a pilóta nélküli légi járművek repüléseit felügyelni és szükség esetén azokat módosítani. Az UTM kialakításához szükséges technológiának egy része már jelenleg is rendelkezésre áll, azonban ezek szabványosítása és széles körben való alkalmazása jelentheti a pilóta nélküli légi járművek valódi légtérbe integrálását.

Az UTM kialakításával a pilóta nélküli légi járműveket a jövőben nem csak kísérleti jelleggel lehetne alkalmazni a légiszállítás vagy akár az életmentés területén, hanem a technológia fejlődésének köszönhetően ezek az eszközök egyre megbízhatóbbak és biztonságosabbak lesznek, így mindennapi életünk része lehet a pilóta nélküli repülés.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Convention On International Civil Aviation (online) url: http://www.icao.int/publications/Documents/7300_orig.pdf
- [2] Az Európai Parlament és a Tanács 216/2008/EK rendelete (online) url: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008R0216&from=HU>
- [3] Notice of Proposed Amendment 2017-05 (B) Introduction of a regulatory framework for the operation of drones (online) url: <https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/NPA%202017-05%20%28B%29.pdf>
- [4] Federal Aviation Administration, Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) (online) url: <https://www.faa.gov/uas/research/utm/>
- [5] AMBAR Group weboldal (online) url: <https://www.ambargrp.com/>
- [6] Qualcomm: Accelerating 5G New Radio (NR) for Enhanced Mobile Broadband and Beyond (online) url: <https://www.qualcomm.com/documents/accelerating-5g-new-radio-nr-enhanced-mobile-broadband-and-beyond>
- [7] uAvionix Corporation ADS-B Transceivers, Receivers and Navigation Systems for Drones (online) url: <http://www.unmannedsystemstechnology.com/company/uavionix-corporation/>
- [8] UAS Electronic Identification (online) url: <https://flarm.com/technology/eid/>
- [9] Eurocontrol: ACAS Guide (online) url: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/nm/safety/ACAS/safety-acas-II-guide.pdf>
- [10] uAvionix Corporation FYXnav-B (online) url: <http://www.uavionix.com/products/fxynav-b>

INTEGRATION OF THE UNMANNED AIRCRAFT

In recent years the popularity of unmanned aircraft has grown rapidly thanks to the fact that their use is only limited by imagination. However in order to exploit the potential of unmanned aviation it is necessary to integrate these devices into the airspace as soon as possible. It is necessary to establish a system of rules that would allow the airborne aircraft to remain safe while operating in the same airspace together with other users. The easiest way to integrate them is to create an air traffic management system especially designed to support the operations of unmanned aircraft.

Keywords: *unmanned aircraft, integration, airspace, autonomous, UTM*

Török Ágnes (MSc)
ügyvezető, okl. közlekedésmérnök, repülésbiztonsági
elemző
Légtér.hu Kft.
trk.agi@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-0536-6215>

Török Ágnes (MSc)
CEO, transportation engineer, safety analyst
Légtér.hu Ltd.
trk.agi@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-0536-6215>



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-14-0419_Torok_Agnes.pdf

Mátyás Palik, Gábor Major, Béla Kiss

MIGRATION FROM A BIRD'S EYE VIEW

Research and analysis related to migration, the historical review of its origin, the observation of its cause and its implication have been extremely popular issues since illegal migration has reached unrecognized dimensions in Hungary in 2015. We may hate the wandering „community”, we may be scared of it, it is up to your temper, there is only one thing we cannot do is to ignore it. There are several options for solution and for satisfactory management to take into account, which can spread from the complete separation to integration. The technical barrier protecting our country and the Schengen borders so-called the temporary border fence, had its first section built on the Hungarian-Croatian border line, measuring 4 meters height and 175 kms length. Camera systems, patrol roads, Smart Signal Systems and patrolling police and military forces are integral parts of this defense system. The authors of this publication introduce the migration airborne from the perspective of an UAV (Unmanned Aerial Vehicle).

Keywords: *Unmanned Aerial Vehicle Systems, drone, migration, rural exodus/population shifts, border barrier.*

INTRODUCTION

Migration is one of today`s most significant and unsolved difficulties and is a phenomenon of all periods of history. Throughout the history of humankind, several times we can see traces of wandering nations and ethnic groups which they left their origins. Several factors can be considered and these factors are usually economical, sociological and environmental. At the beginning of societies, humans established their habitats and territories in areas that had a positive influence to their living conditions and provided shelter and good possibilities for trade. We can see wandering and migration of different groups in different periods as they were escaping from extreme climate or war. Today in the period of globalization it has an increasing trend.

"Migration never stops, we shall prepare ourselves for a new age, and Afro-European culture is on the doorstep." [10] Wrote Umberto Eco¹ at the beginning of the 90s.

According to a study published by the United Nations in 2015, nearly 244 million people live outside their own country. Reasons in the background are complex. On the one hand, the Arab Spring had a significant impact, as nearly 65 million people had to leave their homes and escape from their own countries. According to Mr. Balázs Bokor² the half the population of Syria migrated (currently there are 5 million people in refugee camps and 20 percent of this is Syrian). He adds that, during the fights, up to 300,000 people were killed, 15,000 of them children. On the other hand, we shall not forget about the millions who have suffered continuous conflict and war, living in extreme poverty in the Third World. Drastic changes in their climate and economic conditions do not give them any other choice than to migrate.

¹(1932-2016)

²Ambassador. He served as a diplomat for more than 30 years, out of these 24 years in the Middle East.

Irrespective of when it happens, it seems that wandering still appears to be an option for smaller or larger ethnic groups, as the tool of escape. The pace of the exodus at a given time depends mostly on border crossings. Perfect border control is a nearly inextricable task for the involved authorities. Migration is a natural phenomenon, which cannot be stopped by political or military tools, in the same way that we can't stop the water flow in a river, but we can regulate. Rolling waves must be kept in their channel. Groups prepared to erupt must be monitored and if intervention is needed, we have to keep them under control. To achieve this task, many tools and possibilities of border management, immigration policing and intelligence services are available, however execution always depends on the technical standards of the current period.

Beyond the description of some aspects of migration the authors present the ongoing Hungarian defence procedures and, as a feasible solution, they explain the possibilities of airborne tools in this cat and mouse game. Unmanned aerial vehicles have appeared in several aspects of our daily life, and they offer us a great variety of applications. Imagination only imposes limits on tasks that are feasible for them, their technical possibilities does not.

ASPECTS OF MIGRATION

Before we start to examine the appearance of UAV/UAS³ technologies and their tasks with regard to migration it may be useful to review the methods, aspects and risks of this ongoing rural exodus. It is interesting to examine the migration in details.

Today, one of the most frequently used words in internet search engines, is migration. We can find millions of results, and also several libraries can be filled with books of academic studies, and research documents examining the basic theory of migration. „According to some, migration established or formed individual states and whole nations, or it destroyed them. In this context, Hungarian conquest also can be translated as migration, same as the establishment of the majority of the United States. Israel may have been formed due to a particular population shift and the existence of Liberia in Africa is the outcome of a so called repatriation process” [11].

Referring to figures highlighted in figure 1, it can be stated that in 2015 every ninth person in 1000 worldwide was a migrant.

Nation-states, depending on their political and economic structure, handle the challenge of migration in a different manner. In addition, the US have strengthened migration policy recently and supported Mexico with significant millions of dollars for preventing migrants of reaching the US border. On the one hand, US established 1,100 Km of border fence between 2006 and 2010 in critical areas of its borders with Mexico concerned by heavy migration. The European Union also faced larger or smaller waves of migration over the past 25 years. „The increased number of migrants can be explained by the changes of power relations. On the one hand, after the collapse of the bipolar world order and the termination of its discipline effect, numbers of smaller local conflicts and crises appeared to regulate forced migration. Relevant examples are the Syrian and Libyan civil wars. Referring to statistical information, these two conflicts have

³ Unmanned Aerial Vehicle/Unmanned Aerial System

a significant role in the development of the migrant crisis in Europe in 2015 and could have a significant role in its handling too” [1].



Figure 1. The global number of refugees per 1,000 people in the world [12]

Since wandering has got several aspects, guiding principle can be a motive, a state border, a motivation, legality or the period of residence. Authors summarize these principles in the table (figure 2) below.

Type of migration	Essential factors
external or internal (in-country or international)	Concluded with or without crossing state border
Inbound or outbound (emigration or immigration)	Determination by the direction of wandering
Individual or mass (collective)	Numbers or dimension of participants
Freedom based or violence based (voluntary or obligatory)	The possibility of freedom of movement
Periodic or enduring (temporary or permanent goal, primary or secondary)	Temporarily or permanent
Economic, political, ecologic or cultural	Better quality of life, security reasons
Controlled or uncontrolled (legal or illegal, regular or irregular, registered or not)	Taking into account the rules and regulations of the host country and the acceptance of these rules, residence without legal status

Figure 2. Types of migration and its essential factors [13].

In short, we can say that migration is an individual activity, which can turn into a social phenomenon. It occurs if at least one of the reasons detailed in figure 2 above exists, and implemented by huge numbers of people.

It have shown up primarily in connection with The Paris, Berlin, Madrid, Barcelona and Nice terror attacks that terror acts and their increased risk are fundamentally related to the intensified migration. National security experts, journalists, media actors and politicians are still having continuous arguments if there is any significant relation between illegal migration and the incursion of terrorism?

There is no exact answer to this question. We can have our judgement, but first we have to analyse several data appropriately. What is needed is to know the number of migrants and the number of terror attacks committed. The comparison of these numbers referring to a period of time can give us a determinant figure.

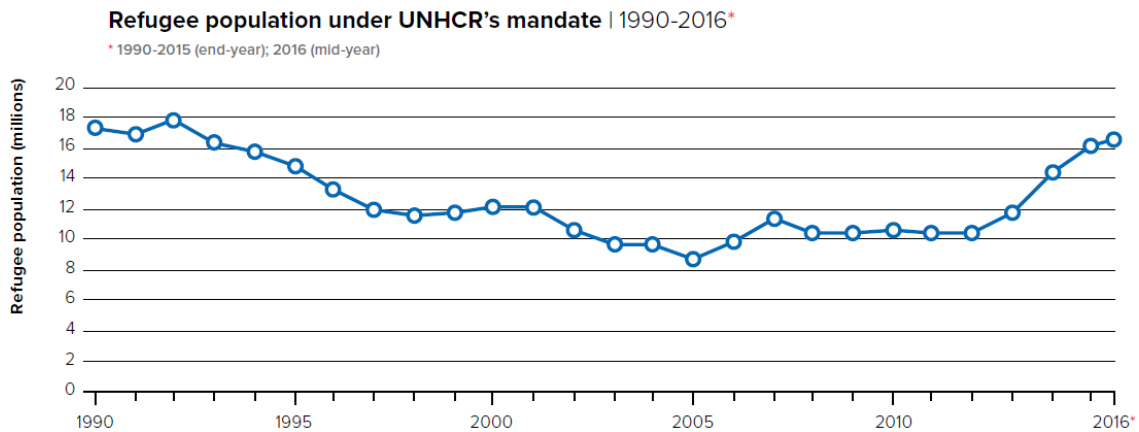


Figure 3. Evolution of migrants [14]

As we look back in time to the nadir of the migration diagram, we can see that the number of terror acts worldwide was 1,159 in 2004, in 2011 we can see 5,000 perpetrations, 11,952 in 2013 and 16,818 terror acts were registered in 2014. If we compare the trend of global migration with the evolution of terror acts in the last 25 years (figure 3) we can see that there may be some particular connection between these numbers. Concerning the evolution of migrants the increase was not more than 40%, but on the other hand the number of terror acts increased in the same period with 1,350% [9].

The next aspect of migration is the determination of wandering routes. The possible existing alternatives of reaching Europe are clearly highlighted in figure 4. Because of its relevant efficiency, the route highlighted with blue is used the most frequently. The main barriers of the shortest route to approach are the existence of natural barriers, malignant and armed guerrilla groups and man-made barriers such as technical barriers (border fence). To accomplish long term preventive function to technical barriers we have to guard them. Guarding of technical barriers will be introduced by the authors in the next chapter.



Figure 4. The Balkan route [15]

THE INSTRUMENTS OF DEFENCE

The expression **European migration crisis** was used first in April 2015 when 5 boats sank while they were transporting migrants to Europe across the Mediterranean Sea. During the disaster nearly 1,200 people died. Probably, these unfortunate migrants were escaping from the war dispersing and broadening in the Middle East, especially from Syria. As the result of the horrible accident the European Union launched first Operation Triton and then the EU Navfor Med operation. In the framework of these operations EU tripled the budget to control the shores of the Mediterranean. Thanks to these naval operations thousands of lives have been saved. During this period FRONTEX⁴, whose main task is to protect and control the Schengen borders, was rescuing migrants arriving by sea with a considerable number of ships and boats, because every night, just in August 2015 alone and just in the Aegean, hundreds of boats tried to cross the sea. Since 2015, migrants have arrived on the territory of the EU through three main routes. They used the Central Mediterranean route via Malta and Italy, the Eastern Mediterranean route by via Greece and the Aegean Sea and the Western Balkan route by via Hungary. According to the increased migratory pressure thousands of people crossed state borders without any check and control. Their aim was to enter the European Union, mainly Germany. The first EU border section immediately after the border of Greece was the Hungarian border, which is also the external border of the Schengen area. Whilst in 2014 altogether 42,700 people applied for asylum, in 2015 this number exceeded 57,000. In the EU whole, this number exceeded 753,000 as it is highlighted in figure 5.

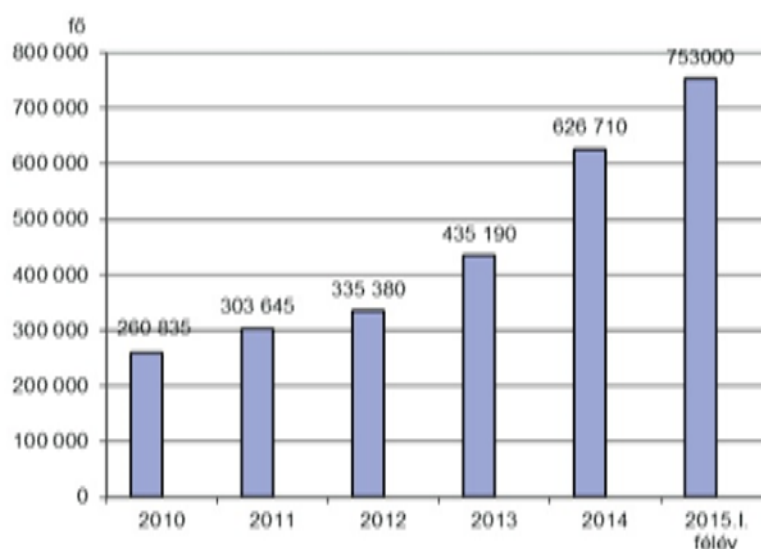


Figure 5. Numbers of asylum applicants within the European Union in 2010–2015 [16]

The government of Hungary, to mitigate the increasing migratory pressure and to keep illegal border crossing under control, decided on 17 June 2015 to close the 175 km long Hungarian-Serbian green border section. The first step taken was to build a 1.5–2 meter high border fence called technical border barrier as an instrument to avoid illegal border crossings. The engineering units of the Hungarian Defence Forces used metal poles fitted with 3 lines of

⁴ European Agency for the Management of Operational Cooperation at the External Borders of the Member States of the European Union (Frontex)

(NATO standards) barbed wire to achieve the desired result. In addition, under the command of police forces, units of the Hungarian Defence Forces started also to patrol together with the police. The implementation of border defence tasks consisted of 3 main duties. These were technical (vehicle) and infantry patrols, high-stand observation and air patrolling. In parallel with the establishment of this technical border barrier the construction of an additional three meters high wired fence also started to strengthen the defence capabilities of the already deployed first defence line. This defence line was called Temporary Border Fence (TBF). There was also a need to modify the legislative environment in force, because, according to Hungarian law, crossing or destroying the technical border barrier was only an administrative offence. On 4 September 2015, the National Assembly of Hungary adopted law CXL 2015, whereby the destruction or illegal crossing of the technical border barrier constitute a criminal offence which may be sanctioned with immediate expulsion.



Figure 6. construction of Temporary Border Fence started on the Hungarian border [17]

After the closing of the Hungarian-Serbian green border line a decision was made to also close the Hungarian-Croatian green border line. Following this decision of the government on 16 October 2015 the establishment of a new 41 km technical border barrier was started. Moreover, the relevant legislation was also modified, new border management rules came into force, which involved the physical defence system of the 3 liner NATO rapid deployable barbed wire.

After having the technical border barrier established the number of illegal border crossings decreased, from four to eight thousand daily to a few dozens. There was scope for further progress by the already established technical border barrier, because human traffickers found out the weak points of the barrier and helped migrants pass through to Hungary by cutting the defence wire. Due to the lack of EU management of the migration crisis it was also expected that further hundreds of thousands will leave their countries to reach the EU. In August 2016, a further fence line was started on the Hungarian-Serbian border line, which integrated a surveillance and security system. By the beginning of 2017 the smart fence plant highlighted on figure 7 had also been deployed. This Intelligent Signalling System (ISS) is also equipped with thermal cameras, night vision equipment and video cameras. ISS is a technical system

which operates with and detects restricted voltage impulses. Sabotage of the system triggers an alarm which is detected in the Command Control (CC) centres established for this reason in police headquarters. After the evaluation of these alarm signals actual patrol forces of the Ministry of Interior and the Ministry of Defence⁵ were tasked. The second line of fence is equipped with such enhanced technical substance that makes it significantly difficult to cut through it. Manoeuvre and service paths have also been constructed, which improved the rapid and professional intervention in the prevention of illegal border crossings.



Figure 7. Intelligent Signalling System (ISS) [18]

Transit zones established by the border line have a significant role in the defence system. Migrants arriving with an application for asylum can present their documents here, and upon arrival they are briefed in their native language on their rights and obligations. The policy of transit zones is regulated in Regulation (Ministry of Interior) 3/2017(III.23.). Transit zones are operating 24/7 and staff members of the Immigration and Asylum Office (IAO) are responsible for processing the asylum applications. „National security checks of asylum applicants are an integral part of asylum procedures in Hungary. Unfortunately, neither in Hungary nor in other countries it can't be completely guaranteed that people dangerous to national security can be identified in the early phase of the procedure. Links between national security and asylum can hardly be examined, which depends mostly on the equipment used, technical resources and financial conditions of various administrative departments.” [5] During the asylum procedure applicants are interrogated, fingerprints and photograph are taken too. Thanks to this procedure it can be partly identified which asylum applicant is recorded by the authorities in connection with terrorism or other crimes. It is important to maintain an atmosphere of trust with the asylum applicants to obtain information on possible dangerous and suspicious people.

Amongst the establishment of the technical and physical defence to manage the migration crisis and to avoid illegal border crossing, it was also essential to develop a legal background for the required defence policy. On 31 July 2015 the government Regulation 213/2015 (VII.31.) was

⁵Ministry of Interior and the Ministry of Defence

published in the Hungarian Official Journal to promote conditions for uninterrupted work during the construction of the fence. Under legislation, unauthorized access to the construction site, hinder of works or to control an unmanned aerial vehicle in its air space is punishable and incur a financial penalty.



Figure 8. The border from a bird's eye view [19]

Controlling a UAV is a proven practice used by human traffickers to assist illegal migrants before and also after the adoption of the legislation to locate and deceive weak areas of the border defence system. To avoid damages to the border fence and to be able to sanction illegal border crossings the rules of crime have been adopted in law CXL2015. According to paragraph 352/A and 352/B of the Criminal Code of Hungary, damages caused to the border fence and illegal border crossing have become a criminal offence. Following the law amendments adopted by the Parliament in the first quarter of 2017 the restricted legal border barrier came into force. The legislation made it clear that asylum applicants have to issue their applications in the transit zones established by the border line in Hungary, and they have to wait for the result. It also regulated that illegal migrants caught by authorities inside the country have to be moved back to the border fence and have to be escorted out of the country.

Information and data on the wandering and location of migrants gathered during aerial reconnaissance have an essential role in the framework of border defence, because airborne, as it is highlighted in figure 8, a much greater area can be examined in much less time. Aerial reconnaissance tasks at the Hungarian-Serbian border line are carried out by the helicopters of the HDF 86th Szolnok Helicopter Base and the police. The purpose of these control flights is to check the integrity of the border fence and to reconnoitre and report abandoned camps of migrants and their movement. The quality of execution of this duty depends largely on the terrain conditions and on the weather. Depending on these two factors the altitude of the helicopter can be between 15 and 300 meters and its speed between 0 and 200 Km/h. Due to this excellent flight characteristic, like just hanging static on a low altitude, perfect observation can be obtained. Personnel involved in the aerial reconnaissance task is on continuous standby, so they can be alerted 24/7. In case of need, they are not just capable to execute reconnaissance tasks, but also capable to execute transport tasks. Because of this, there is a chance to supply

logistic or human reinforcement within a short time to areas that are difficult to reach by vehicle. The only disadvantage of aerial reconnaissance flights is their efficiency, because helicopters can perform their duties only with a very high operating cost.

We think that aerial reconnaissance duties can be much more cost-effective by using unmanned aerial vehicles in parallel with the partial or total replacement of helicopters.

THE POTENTIAL OF UNMANNED AERIAL SYSTEMS IN MIGRATION

The application of UAV/UAS to execute reconnaissance duties on the border of a specific country is not new. The US applied drones with testing intents to check its borders at the beginning of the 2000s. However, at that time operational costs of this technology did not make it possible to deploy this system for border defence tasks.

Due to the technical evolution of the last decades this issue is topical again, because unmanned aerial systems went through a great evolution and continuous improvement, even turbulent. Several types exist, such as fixed wing, rotor driven and even flapping-wing (ornithopters). One type can fly faster than the speed of sound, one weighs only a few grams and one is capable to depart with several tonnes of take-off mass, one can only fly a few hundred meters from its base of operation and other types are capable to fly across the continents. They can fly autonomously or can be remotely controlled by a human, or it can be a combination of both. Common feature of these constructions is the necessary presence of technical personnel [7].



Figure 9. Deployable command centre [20]

Considering the above, it is not surprising that not just regular forces dealing with border defence such as the HDF and the police prefer this tool, but also human traffickers looking for advancements in illegal migration prefer this technical equipment. An advantage of applying UAV/UAS during the execution of border reconnaissance duties is the relatively low operational cost, and in addition it gathers a significant quantity of information. After the

construction of the border fence the National Directorate General for Disaster Management and the Hungarian Defence Forces carried out frequent aerial reconnaissance with UAVs in critical areas. They provided particular assistance if the terrain was complicated, where monitoring of migrants who arrived on the border to cross it illegally, was difficult, because of specific landmarks such as buildings or wooded strips. According to international regulations and law in force, it is not possible under any circumstances to fly across the border line.

The current system of border defence could be expanded with a 24/7 UAV air traffic control service. The mission of this service is to provide aerial reconnaissance information to the personnel involved in border defence tasks. Controllers and a control centre may be deployed in existing Border Defence Bases and in the deployable command centre highlighted in figure 9. Type and flight parameters of unmanned aerial vehicles on duty may depend on the actual patrolling exercise.

„Requirements imposed to unmanned aerial vehicles used in the field of safety technology are usually common (there may be specializations in specific sectors of industry): in case of human controlling the connection between the control panel and the drone has to be established securely to avoid external disturbance, interception (cyber tapping) or override. In case of an autonomously operated UAV it has to sense the discharge of the battery and has to fly back to the recharge station. In case of unexpected discharge of the battery a safe route must be used to avoid a crash on humans or critical systems or system components. Recorded pictures, if any have to be handled in accordance with the privacy act and in accordance with the regulations of the respective industrial sector.”[4]

However, with regard to privacy, we have to emphasise data protection, that the problem is not related to the use of these unmanned aerial vehicles, but to adjustable accessories with atypical data management capabilities equipped on them. The biggest difference in data management and processing is that this tool is capable to collect data and information about everything within its sight, and even in case of its intended use it may represent a breach into people's private sector. This horizon compared with the previously used tool's horizon, is remarkably wide and can be adjusted rapidly. If there is no related regulation (contrary to a camera applied on a helicopter or a permanently deployed private security system) it can track moving people or objects without unnoticed. Anyway, this ability is the focal point during the execution of border defence activities. By using this new technology, the controller can easily execute an undercover observation, because the size of the aerial vehicle enabling the observation is very small [6].

UAV controlling stations may be able to manage patrol duties and aerial control within their area of operation. Control of aerial vehicles can be executed by direct human control or by pre-programmed and pre-edited routes. The feature of autonomous aerial systems, „contrary to human controlled ones, is that during their whole flight they execute their tasks according to the memory pre-loaded into the programme package of the onboard computer. All basic data required for the flight to manoeuvre the UAV on the appropriate route with the appropriate profile and with the simultaneous operation of onboard systems are stored in the onboard computer” [2].

A UAV participating in the task is adaptable with video recording and simultaneously transmitting video systems. Autonomous, pre-programmed, patrolling UAVs can be equipped with camera systems that can recognize thermal signs by video analytics, they can acknowledge

human body's thermal imaging highlighted on figure 10 and they can send an alarm to the control centre automatically. Identification is possible from 16 pixels / meter. From this distance it can be determined if the person is armed or not. After the alarm the controlling personnel of the UAV can inform the relevant police patrols and can continue the manually controlled reconnaissance and analysis of the affected area. In addition, the UAV can supervise, and record police measures taken against illegal migrants. Use of these aerial vehicles may be great assistance against illegal migrants, who enter Hungary by damaging the temporary border fence and those who are already inside the country.



Figure 10. 23 meters: 84 pixels resolution [21]

Such equipment can be very useful in the search and exploration of these migrants, because it is capable to develop airborne reconnaissance in a relatively large area in a very short period of time. Information acquired by using this method may increase the efficiency of search and exploration and improve chances to have wanted people arrested. If correctly programmed UAS is capable to sense and to react to the low level of its battery. In case of reaching the pre-programmed minimum level of the battery, the UAS may return to its base, where its recharge might be technically possible with wireless connection and without any human intervention. Autonomous UAV returning to base can be replaced automatically without any human intervention with a UAV prepared for a mission. Continuity of aerial reconnaissance activities can be ensured by applying this method and human resources planned for the actual guarding activities can be reduced. The operational cost of UAVs is only a fraction of the cost of aerial reconnaissance operations executed by helicopters.

CONCLUSION

As an overall conclusion we can say that migration is almost as old as humanity. However, we should not to be surprised of the reactions of people, because dramatic growth or decrease of societies can cause significant disturbances. Today, several armed conflicts and climate change force people to leave their countries. In addition, a significant number of economic migrants depart to find better living conditions, primarily aiming advanced civilizations such as the United States of America or the European Union. In 2015, partly because of the Arab Spring and the

Syrian war, hundreds of thousands of refugees of war reached the border of the European Union on the three main routes described earlier in this article. On a daily basis, tens of thousands of migrants arrived in Hungary from Greece by using the Eastern Mediterranean route and crossing the border illegally. To manage the situation the Hungarian government took the decision to establish a physical barrier first on the Hungarian-Serbian and then on the Hungarian-Croatian border section. Besides the construction of a physical defence, all required legislations have also been established. These regulations can enforce successful execution of border defence duties and tasks and prevent illegal border crossing. Beside the police forces, the personnel of the Hungarian Defence Forces was also assigned to border defence duties, to serve in joint patrols. The lack of a common European approach has made it clear that other hundreds of thousands of migrants and refugees will aim countries of the European Union, so the Border Fence has been consolidated. Due to the related political decision an Intelligent Signalling System (ISS) with integrated guarding and defence component has also been established. Other state actors also have a significant role in border defence duties. Their helicopters execute aerial reconnaissance and monitoring tasks. Thanks to their activities, reconnaissance of large areas can be executed in a short period, which supports infantry and technical patrols during the execution of their defence duties. UAVs also present a great support. Their application gathers a significant amount of information with regard to the position, numbers and movement of illegal migrants. They can be used above difficult and intensely covered terrain.

The already established border defence system can be integrated with a **24/7 Air Traffic Control Service** that consists of aerial vehicles and their controllers. The service could execute 24/7 airborne reconnaissance, control and patrolling of the border line. It also can support tasks of search and exploration related to illegal border crossings. Unmanned aerial vehicles and systems may carry out their duties without any human intervention. They may execute their patrols on pre-programmed routes and with appropriate technical equipment applied, like infra camera, facial recognition tool, they can send alarm signals on potential threat sources such as thermal signals of humans. Air Traffic Control Service integrated with UAV/UAS may increase the efficiency of the border defence. It can greatly contribute the exploration success of illegal migrants and can partly expand actual helicopter reconnaissance. Due to these positive effects significant cost-efficiency can be obtained.

REFERENCES

- [1] Balla József, Christián László, Farkas Ádám et.all.: Magyarország és a 2015-ös európai migrációs válság. Dialó Campus Kiadó, Budapest, 2017. page.10.
- [2] Dr. Palik Mátyás (szerk.): Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek, Nemzeti Közszerológálati Egyetem, Budapest, 2013. page. 90. ISBN 978-615-5057-64-9
- [3] Hautzinger Zoltán-Hegedűs Judit-Klenner Zoltán: A migráció elmélete Nemzeti Közszerológálati Egyetem, Budapest, 2014. pages 7-19. ISBN 978-615-5305-54-2
- [4] Kovács Tibor, Viplak Armand Máté: Drónok a biztonságtechnikában. Hadmérnök, Budapest, 2017. XII. Évfolyam 2. szám. page 8. ISSN 1788-1919
- [5] Magyar Helsinki Bizottság: A menekültvédelem jövője Magyarországon. Magyar Helsinki Bizottság, Budapest, 2017. page 41.
- [6] Major Gábor: Ésszerű szabályozás vagy tiltás, avagy mit lehet kezdeni a drónokkal? Repüléstudományi közlemények XXVII. évfolyam, 2015. 1. szám, page 169. HU ISSN 1789-770X
- [7] Major Gábor: Etikus-e a drónok használata? Honvédségi Szemle 144: page 100. HU ISSN 2060-1506
- [8] Mózes II. könyve: <http://szentiras.hu/RUF/2Móz40>.
- [9] Ritecz György: A migráció trendjei – és ami mögötte van. p.119. REGIO 24. évf. (2016) 2. szám page 109-139. <http://regio.tk.mta.hu/index.php/regio/article/view/115> (downloaded: 02 Nov 2017)
- [10] Umberto Eco: Gyufalevelek, Európa Könyvkiadó, 2007. page 9. ISBN 9789630784115
- [11] Vö.: Halász István: A nemzetközi migráció és a közigazgatás. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest, 2011. page 5
- [12] UNHCR: Global Trends – Forced displacement in 2015. (page 6.) <http://www.unhcr.org/576408cd7.pdf>
- [13] Prepared by the author on the basis of the following publication: Hautzinger-Hegedűs-Klenner: A migráció elmélete [3]
- [14] UNHCR Mid-Year Trends 2016, p.5. (<http://www.unhcr.org/statistics/unhcrstats/58aa8f247/mid-year-trends-june-2016.html>)
- [15] <http://www.dw.com/en/more-than-one-refugee-route-through-the-balkans/a-19056768>
- [16] Tóth Pál Péter: Az Európai menekültválság (page 63) <http://demografia.hu/hu/letoltes/publikaciok/Toth-Pal-Peter/Toth-Pal-Peter-Az-europai-menekultvalsag.pdf>
- [17] Magyar Nemzet: Nincs más megoldás, mint a határzár. <https://mno.hu/belfold/mazsok-elnok-nincs-mas-megoldas-mint-a-hatarzar-1308850>
- [18] MTI: Nincs áram a kerítésben. <https://www.lokal.hu/2017-05-belugyminiszterium-nincs-aram-a-keritesben/>
- [19] Búz Csaba hadnagy: A határ madártávlatból. http://www.honvedelem.hu/cikk/60523_a_hatar_madartavlatbol
- [20] Rátónyi Krisztián Ferenc: Pilóta nélküli repülők a Magyar Honvédségben. file:///C:/Users/hirfonokseg/Desktop/2013-2-51-Ratonyi_Krisztian_Ferenc.pdf
- [21] Oktel Kft.: Thermal camera. <http://oktel.hu/szolgalatas/kamerarendszer/hokamerak/>

A MIGRÁCIÓ MADÁRTÁVLATBÓL

A migrációval kapcsolatos kutatások, elemzések, a kialakulásának történeti áttekintése, a vándorlás okainak és következményeinek vizsgálata 2015 óta az illegális bevándorlás Magyarországon eddig nem tapasztalt méretei miatt, rendkívül népszerű téma. Lehet gyűlölni a vándorló „közösséget”, lehet félni tőlük, mindenki vérmérséklete szerint dönthet, egyet nem tehetiünk, mégpedig azt, hogy figyelmen kívül hagyjuk a témát. A megoldásra törekedve számos lehetőség nyílik a helyzet megnyugtató kezelésére, amely repertoár a teljes szeparációtól a befogadásig terjedhet. Az országot és egyben a schengeni határt védő műszaki határzár, azaz a határőrizeti célú ideiglenes kerítés első eleme a magyar-horvát határszakaszon épült meg, mintegy 175 km hosszan és 4 m magasan. A védelmi rendszer szerves részét képezik a kamerarendszerek, manőver utak, Okos Jelző Rendszerek, valamint a járőr szolgálatot teljesítő rendőrök és katonák. A szerzők ebben a publikációban a népvándorlást a levegőbe emelkedve, a pilóta nélküli légitűeszközök szemszögéből kívánják bemutatni.

Kulcsszavak: pilóta nélküli légitűeszközök, drón, migráció, népvándorlás, műszaki határzár

Palik Mátyás (PhD) intézetigazgató, egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet palik.matyas@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-2304-372X	Palik Mátyás (PhD) Director of institute, associate professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation palik.matyas@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-2304-372X
Major Gábor tanársegéd Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Fedélzeti Rendszerek Tanszék major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X	Gábor Major Assistant lecturer National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of On-Board Systems major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X
Kiss Béla századparancsnok MH 86 Szolnok Helikopter Bázis kiss.bela1979@freemail.hu orcid.org/0000-0002-6151-5484	Béla Kiss company commander HDF 86th Helicopter Base kiss.bela1979@freemail.hu orcid.org/0000-0002-6151-5484



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-15-0440_Kiss_Bela-Major_Gabor-Palik_Matyas.pdf

Szilvássy László

HARCI VS. FELFEGVERZETT SZÁLLÍTÓ HELIKOPTER

A szerző rávilágít a harci és szállító helikopterek közötti különbségre és ezt szakmai érvekkel alá is támasztja. Ezenkívül bemutatja harci helikopterek fegyverrendszerét és rámutat arra, hogy egy felfegyverzett szállító, vagy általános (többrendeltetésű) helikopter nem helyettesítheti a páncélozott harci helikoptereket.

Kulcsszavak: harci, szállító, helikopter, modernizáció, beszerzés, többfeladatú helikopter, fedélzeti fegyverrendszer, aktív, passzív védelem

BEVEZETÉS

Aki egy kicsit is foglalkozik a helikopterek – beleértve a szállító és a harci helikoptereket is – helyzetével, ezelőtt ismert az a tény, hogy Magyar Honvédségen belül ezek száma már évek óta kritikus szinten van. Ez a gyakorlatban akkor jelenthet igazán nagy gondot mikor – például egy nagyobb árvíz védekezési munkálatai, vagy egy kritikus hóhelyzetben a repült idő után – több helikoptert üzemidős javítás, karbantartás miatt le kell állítani és alig marad eszköz, pl. a kutatómentő szolgálat ellátására, vagy legrosszabb esetben nem lesz elegendő eszköz a feladat végrehajtására. Ebből is következik, hogy a helikopterek cseréje, vagy pótlása elodázhatatlan feladat. Ezt ismerte fel a kormány is a tavalyi évben. Először szállító helikopterek, majd ebben az évben harci helikopterek felújítására kötött szerződést. Ennek értelmében 6 db Mi-24V és 6 db Mi-24P harcihelikoptert újítanak fel Oroszországban [27][28]. Sokan bírálják, hogy ez a hetvenes, nyolcvanas évek technikai színvonalának konzervállása. Ebben van is némi igazság, de még mindig jobb felújítani ezeket az eszközöket és fentartani velük a hajózó és műszaki személyzet képességeit, mint helikopter hiányában azt teljesen elveszíteni azt [28][29]. Nem kívánok állást foglalni ebbe a vitába, mert minkét oldalon van igazsága és egy bonyolult helyzetet nem szabad csak egy szemszögből vizsgálni, ahogy teszik azt nagyon sokan. Ebben a vitában megint előkerült, hogy a harci helikopterek felújításának árából „*Jobb lett volna inkább több Mi-8/Mi-17-es?*” [27].



1. ábra Felfegyverzett szállító helikopter [40] nem azonos a harci helikopterrel [41]

Már évek óta foglalkozom a harci helikopterek modernizációs kérdéseivel [12][18][20], amit előszörban a fedélzeti fegyverek szempontjából közelítettem és közelíték meg. Számos írásomban

[13][15][16] kifejtettem a témával kapcsolatos véleményemet, kutatási eredményeimet, sőt a doktori disszertációm [1][2] is e témában írtam. Korábbi tanulmányaimban, szakcikkeimben megvizsgáltam számos harci helikoptert, többek között a Mi-24-est [3][4], az AH-64-est [5], a Mi-28-ast [7], a Ka-50/52-est [17] és az A129-est [14]. Írtam azok fejlődését [8], alkalmazási lehetőségeit [6], rangsoroltam a hatékonysági követelményeit [10], bemutattam a fedélzetei fegyvereiket [13][15][16][19][21]. A doktori disszertációm [1] kidolgoztam egy paraméterezett összehasonlító eljárást, melynek segítségével objektíven összevethetővé tettem a harci helikoptereket a fedélzeti fegyverek szempontjából. Ezt a disszertáción kívül is publikáltam [9][11]. A repülőfedélzeti fegyverekkel kapcsolatos kutatásaimat azóta sem hagytam abba. Rendszeresen követelem a megjelent írásokat, amik között a mai napig számomra prioritást élveznek a harci helikopterekkel kapcsolatosak.

Harci helikopter

Definition: „An attack helicopter is an armed helicopter with the primary role of an attack aircraft, with the capability of engaging targets on the ground, such as enemy infantry and armored fighting vehicles. Due to their heavy armament they are sometimes called helicopter gunships.” [42]

Definíció (a szerző fordítása): A támadó/harci helikopter egy felfegyverzett helikopter, mely elsődlegesen támadó repülőgép szerepet tölt be. Feladata a célok megsemmisítése a földön, beleértve az ellenség élőerejét és páncélozott harcjárműveit. Nehéz fegyverzetük miatt gyakran repülő tankoknak is nevezik. (Az angol nyelvterületen a *helicopter gunships* elnevezést használják, ami szószerint nem fordítható magyarra.)

Sajnos a Hadtudományi lexikon [44] sem tartalmaz helyes definíciót a harci helikopter címszóra [44]. Ez nem meglepő hiszen a kategóriát kb. a nyolcvanas években kezdték definiálni, mikor a RAH-66 Comanche program elindult (1983–2004) [32]. Ebben fogalmazták meg először, hogy valójában mi is ez a repülőeszköz.

Juhász János¹ így fogalmazta meg:

„egy gyors-járatú, jó manőverező képességű, sokoldalúan alkalmazható, nagy pusztító erővel rendelkező, fegyverhordozó (páncéltörő) eszköz” vagyis „légi tüzérség” [43]

Én a következő meghatározást használtam, már a doktori értekezésemben is:

Harci helikopter: egy aerodinamikus, forgószárnyas, jól manőverező repülőeszköz, melyet irányítható és nemirányítható rakétákkal, az ellenség páncélos kötelékeinek megbontására hoztak létre. Fejlődésével feladatai kibővültek a fegyvertelen szállító, kutató-mentő helikopterek kísérésével, az ellenség szárazföldi csapatainak, légvédelmének közvetlen támadásával, mélységben is, valamint légi harc megvívásával elsősorban alacsony sebességű légi célok pl. helikopterek, de esetenként vadászrepülőök ellen is. Mindezen feladatok végrehajtásához megfelelő tűz-, rakéta és bombázófegyverrel, aktív és passzív védelemmel, páncélzattal, valamint magas fokú túlélési taktikával rendelkezik. Az első harci helikopter a 60-as évben megjelent amerikai AH-

¹ Juhász János alezredes, az MH 87 Bakony Helikopter Ezred Hadműveleti és Kiképzési osztályvezető 2000 [43]

1 „Cobra” volt – igaz ez nem minden jegyében felel meg a kritériumoknak –, amit rövid időn belül a Mi-24A követett [1].

Az akkori megfogalmazásomat ma sem változtatnám meg, csak kiegészíteném a következőkkel:

A harci helikopterek kellő hatékonysággal alkalmazhatók határvédelmi feladatok ellátására, alacsonyan repülő sárkányrepülő és/vagy kisrepülőgépek országhatáron történő átrepülése során.

A definícióban említett légiharc megvívásának lehetőségére az amerikaiak 1968-ban kísérleti gyakorlatot hajtottak végre, melyben egy AH-1G „Cobra”, egy F-4 „Fantom” és egy F-8 „Cruseider” vett részt. Mindkét légiharc a „Cobra” győzelmével végződött. Egy másik gyakorlaton a harci helikopter „Sidewinder” rakétával lelőtt egy 800 km/h sebességgel repülő célgépet. Találunk példát valós harci helyzetben történő légiharcra is, amikor egy Mi-24P helikopter legyőzött egy „Fantom”-ot az irak-iráni háborúban. A fentiek jó példák arra, hogy a harci helikopterek képesek felvenni a harcot a támadó légi ellenséggel, ennek érdekében nem feltétlenül szükséges speciális vadászhelikoptereket építeni, csak a meglévő fegyverzetét kell kiegészíteni korszerű légiharc rakétákkal [1]. Ezek a légiharc megvívására alkalmas rakéták meg is jelentek a harci helikopterek fedélzetén.

A harci helikopterekkel szemben támasztott követelmények

A múlt század háborúi és fegyveres konfliktusai olyan tapasztalatokhoz juttatták a fegyver gyártókat, amelyekhez modellezett körülmények között egyáltalán nem, vagy csak nagyon nehezen juthattak volna hozzá. A harci helikopterek fejlesztése, a XX. század második felére tehető. A koreai és vietnámi háborúban szerzett tapasztalatok alapján kialakult egy egységesnek tekinthető követelményrendszer a harci helikopterekkel szemben.

A háborúk és fegyveres konfliktusok tapasztalatai alapján a korszerű harci helikopterekkel szemben támasztott követelmények:

- ➔ manőver képesség – beleértve a légiharc megvívásának képességét, döntően harci helikopterrel, szükség esetén merevszárnyú harcászati repülővel szemben is;
- ➔ jól variálható, különböző feladatok végrehajtására alkalmas függeszthető fegyverzet alkalmazásának lehetősége;
- ➔ korszerű avionikai jellemzők (navigációs, célzó-navigációs, kommunikációs stb.);
 - komplex önvédelmi tulajdonságok;
 - passzív páncél védelem;
 - lopakodó tulajdonságok;
 - speciális festés;
 - speciális kialakítás;
 - rejtett fegyvertér;
 - behúzható futómű²;
 - aktív védelem;

² A vietnámi háború tapasztalatai alapján a behúzható futómű jelent meg követelményként. Ma többnyire rögzített futóművet alkalmaznak a legtöbb harci helikopteren, bár itt is található kivétel [25]. Az LHX programban behúzható futóművel tervezték a RAH-66-ost. (A szerző megjegyzése.)

- infracsapda kivető;
- besugárzásjelző;
- rádiólokátor zavaró berendezés.

A felsorolt konstrukciós tulajdonságok önmagukban, vagy akár egy komplex rendszert alkotva még nem elegendőek ahhoz, hogy egy harci helikopter maradéktalanul megfeleljen a legmagasabb követelményeknek. Ehhez az is elengedhetetlen, hogy a beépített aktív és passzív védelme, a fegyverzete és minden egyéb rendszere megbízhatóan szolgálja azt a feladatot, amire a harci helikoptert tervezték. Hiába rendelkezik egy helikopter a legkorszerűbb, nagy pontosságú fegyverekkel, ha egyéb rendszerei, berendezései vagy szerkezeti kialakítása pl. a forgószárnyak lövésállósága, vagy a berendezések páncélvédelme stb. nem teszik lehetővé, hogy huzamosabb ideig a levegőben maradjon.

A fentebb megfogalmazottaknak megfelelően felírhatjuk a harci helikopter általános **hatékonysági kritériumát**:

$$W = \prod_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

ahol:

- W – a harci helikopter hatékonysági mutatója;
- P_i – elemi feltételes valószínűségek, melyek az egyes berendezések, rendszerek megbízhatóságát, a feladat végrehajtásának, a cél felderítésének stb. valószínűségét jellemzik.

Ha a fenti összefüggésben szereplő elemi feltételes valószínűség (P_i) helyére, az eredményes feladat végrehajtás szempontjából legfontosabb mutatókat helyettesítjük be, akkor a következő összefüggést kapjuk:

$$W = P_m \cdot P_t \cdot P_{mb} \quad (2)$$

ahol:

- P_m – csapásmérő képesség (az ellenséges cél megsemmisítésének valószínűsége);
- P_t – a túlélőképesség (az eredményes önvédelem valószínűsége);
- P_{mb} – a műszaki megbízhatóság (a hibamentes működés valószínűsége) [22].

A **csapásmérő képesség**, függ a célfelderítés, a felszíni célok leküzdésének és az ellenséges helikopterekkel vívott légi harc sikeres megvívásának valószínűségétől, valamint a fedélzeti fegyverek harcászati-technikai jellemzőitől, illetve a fegyvervezérlő rendszer hatékonyságától és a személyzet kiképzettségétől, pszicho-fizikai állapotától [26].

A **túlélőképesség**, (az eredményes önvédelem valószínűsége) függ a passzív és aktív önvédelmi rendszerek hatékonyságától, a lopakodó (stealth) jellemzőktől és a repüléstechnikai, harcászati eljárásoktól.

A **műszaki megbízhatóság**³ függ az üzemeltethetőségtől, (tábori körülmények között is) a technológizáltságtól, a diagnosztizálhatóságtól, a javíthatóságtól, a javításközi üzemidőtől, a két meghibásodás közötti repült időtől.

³ "Műszaki megbízhatóság: a haditechnikai eszköz szerkezetének (rendszerének, berendezésének, elemének) vagy akár egész üzemeltetési (üzembentartási) rendszerének azon tulajdonsága, hogy az előírt funkciót teljesíti, miközben meghatározott üzemeltetési mutatók értékeit az üzemeltetés, a műszaki karbantartás, a javítás, a tárolás és a szállítás előre megadott üzemmódjai feltételeinek megfelelő, előírt határok között, időben megőrzi." [39]

Természetesen a felsorolt három valószínűségi értéket még tovább lehet bontani, de ez nem befolyásolja azt, hogy a harci helikopter hatékonysági mutatója egyenes arányban van a műszaki megbízhatóság, a túlélés és a cél megsemmisítésének valószínűségével. Bármelyik jellemző kiemelésével és jelentős ráfordítással történő értéknövelése esetén sem fog a teljes hatékonysági mutató olyan mértékben emelkedni, hogy az meghatározó legyen. Ennél lényegesebb mindhárom kellően magas szintre emelése. A továbbiakban a három közül csak a csapásmérő képességről lesz szó.

A felsoroltak közül számos tulajdonsággal a többfeladatú helikopterek is rendelkezhetnek, pl. Mi-172, MD-500/530, BO-105/108, SA-542M/L, NH-90 stb. Az aktív és passzív védelmi tulajdonságokkal viszont csak a kimondottan harci feladat végrehajtására tervezett és épített harci helikopterek pl. AH-1, Mi-24, Mi-28, A129 (T129), AH-64, Ka-50, Ka-52, Tiger, AH-2 stb. A komplex önvédelmi tulajdonságokra a 70-es években vívott helyi háborúk tapasztalatai hívták fel a figyelmet.

Egy gyakorlati számítás segítségével vizsgáljuk meg, mennyire befolyásolja a fenti három valószínűségi érték bármelyikének megváltozása a helikopter hatékonysági mutatóját. A (2) egyenletbe behelyettesítve a következő – csak a példa kedvéért felvett – értékeket:

	Harci helikopter	Szállító helikopter
P_m	0,8	0,8
P_t	0,8	0,6
P_{mb}	0,8	0,8

1. táblázat a helikopterek feltételezett valószínűségi paramétereit

A P_t – a túlélőképesség (az eredményes önvédelem valószínűsége) között, a táblázatba, nincs jelentős különbség a harci helikopter javára. Valóságban ettől sokkal nagyobb különbségek mutatkoznak. Például egy korábbi elemzés szerint az AH-64 „Apache” harci potenciálja a AH-1 „Cobra”-hoz viszonyítva a csapatok légi támogatásakor „1,8”, a harckocsik elleni harcban pedig „3” egységet képez⁴ [38]. Ha ezt számokban kívánom kifejezni akkor a P_m csapásmérő képességet (az ellenséges cél megsemmisítésének valószínűségét) kell számszerűen meghatározni. Feltételezzük a következőt: légvédelmi ellentevékenység mellett az AH-1 csapásmérő képességét vegyük 0,2-nek, ebben az esetben az AH-64 ugyanezen paramétere 0,6. Ez azt jelenti, hogy az egyik esetben 20% annak az esélye, hogy a helikopter megsemmisíti a célt, a másik esetben 60%.

Visszatérve a példánkhoz. 80% a valószínűsége, hogy a harci helikopter megsemmisíti a célt, hogy túléli a feladat végrehajtását és annak is, hogy nem hibásodik meg. Ennek megfelelően a harci helikopter hatékonysági mutatója:

$$W = P_m \cdot P_t \cdot P_{mb} = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 0,512;$$

ugyanez szállító helikopter esetében:

⁴ A viszonyítási alapnak (egy egységnek) ebben az esetben a AH-1 „Cobra”-t tekintjük, majd a gyakorlati tapasztalatokat elemezve, kiszámítjuk, hogy az AH-64 „Apache” hány egységet képvisel a „Cobra”-hoz képest. Ez egy gyakorlatban is sokat használt összehasonlítási módszer, nem csak helikopterek, hanem más harceszközök pl. harckocsik esetében is.

$$W = P_m \cdot P_t \cdot P_{mb} = 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,8 = 0,384;$$

Ez jelentős különbség.

A 90-es években a hadrendbe állítandó harci helikopterek létrehozására a legátfogóbb és leg-részletesebb kutatásokat az 1983-ban létrehozott LHX⁵ program keretében az Egyesült Államokban végezték. A programban valamennyi amerikai harci helikoptergyártó cég részt vett. Az Eurocopter és az A129 fejlesztésénél is az LHX eredményeit használták fel, melyeket nem túl nehéz felfedezni az orosz Mi-28 helikopter esetében sem, sőt a Kamov Ka-50 helikopter esetében is megtalálhatjuk azokat az ismérveket, amelyeket a program felsorol [33].

Amennyiben az amerikai és az orosz kutatási eredményeket és fejlesztési irányokat megvizsgáljuk, arra a következtetésre juthatunk, hogy az ezredforduló után hadrendbe állítandó harci helikoptereknek a következő pontokban felsorolt tulajdonságokkal kell rendelkeznie⁶ [23].

Manőver tulajdonságok

Földközeli repülés során:

- $v_{y,max} \approx 10$ m/s sebességű emelkedő képességgel;
- $v_{ut} = 260\text{--}280$ km/h utazó sebességgel;
- $v_{max} = 300\text{--}310$ km/h maximális sebességgel;
- $v_{h,max} = 40\text{--}60$ km/h sebességgel hátra;
- $v_{o,max} = 30\text{--}50$ km/h sebességgel oldalra kell rendelkeznie.

Az elérhető legnagyobb magasság 4500–6000 m körül legyen, bár ennek a hazai domborzati viszonyok között nincs akkora jelentősége, de ha a NATO tagságból eredő kötelezettségeknek is eleget téve, nem szabad figyelmen kívül hagyni. A helikopter legyen alkalmas valamennyi műrepülő elem végrehajtására $n_y = (+3)\text{--}(-0,5)$ túlterhelési tartományban, valamint intenzív pedálfordulókra. A hatótávolság, normál üzemanyag feltöltéssel érje el az 700–800 km-t, póttartály (póttartályok) alkalmazásával 1200–1500 km-t, 2,5–3,5 óra repülési idővel. A légi utántölthetőség kívánatos, de általános követelményként még nem jelenik meg [24].

Fegyverzeti jellemzők

A helikopternek állandó, lőtoronyba beépített gépágyúval kell rendelkeznie. A géppuska alkalmazása a mai korszerű páncélozott eszközök ellen nem elég hatékony⁷. (A géppuskák és gépágyúk páncélatütőképessége közötti összehasonlító számítás a [15] publikációban található.) A lőtorony elfordulása vízszintesen érje el a $\pm 90^\circ$, függőlegesen $+10^\circ$ és -40° között legyen. A gépágyú lőszer-javadalmazása minimálisan 500 db, de kívánatosabb az 1000 db, géppuska esetében ez a mennyiség megkétszerezhető.

Felszíni célok ellen alkalmazható nemirányítható rakétafegyverzet esetében a viszonylag nagyobb mennyiségben, úgynevezett zárótűz létrehozására, 70–80 mm űrméretű rakéták szüksé-

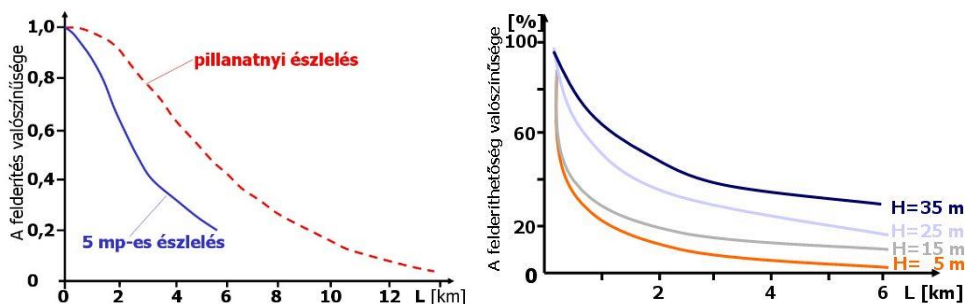
⁵ LHX – Light Helicopter Experimental – könnyű, kísérleti helikopter [32]

⁶ E tulajdonságok napjainkban – különösen a repülési sebességet illetően – jelentős ártértékelés alatt állnak.

⁷ A hazai és a nemzetközi szakirodalomban – repülőfedélzeti tűzfegyverek esetében – 20 mm űrméretig beszélünk géppuskáról, fölötte pedig gépágyúról. A 20 mm-es fegyvert már gépágyúnak tekintjük. (A szerző megjegyzése.)

gések. Ezeket rendszerint 20–30 csövű blokkokból lehet indítani. Mivel a Magyar Honvédségben kimondottan tűztámogató feladatok végrehajtására alkalmazható merevszárnyú repülőgépek nincsenek rendszeresítve, ezért lehetőség szerint a harci helikoptereknek ezt a feladatot is el kell látniuk, így a nemirányítható rakéta fegyverzettel szemben támasztott követelményeket ki kell bővíteni a nagyobb űrméretű pl. 100, 130, 240 mm-es, különböző rendeltetésű harci résszel ellátott rakéták alkalmazhatóságával [34][36].

Az irányítható rakétafegyverzetnek alkalmasnak kell lennie mind felszíni, mind légi célok elleni rakéták harci alkalmazására. Felszíni célok támadására lehetőség szerint különböző módon rávezethető (passzív infravörös, félaktív lézer, félaktív rádió és aktív önirányítású) rakéták alkalmazása a célszerű. Ez azért lényeges, mert a feladat és az adott harci körülmények függvényében, lehetőség legyen a legmegfelelőbb eszköz kiválasztására. Pl. álcázó füst alkalmazása során a félaktív rádió vagy az aktív rádió önirányítású rakéta a legmegfelelőbb a cél megsemmisítésére, de szélessávú, aktív rádiózavar esetén viszont nem használható. Irányítható rakétafegyverzettel kapcsolatban mindenképpen szükséges a légiharcban bevethető eszközök alkalmazhatósága. Ebben az esetben csak a „Tüzelj és felejtsd el!” elven működő eszközök jöhetnek számításba. Ez lényeges tulajdonság, mert az ellenséges helikopterek észlelési és azonosítási ideje kb. 5–6 másodperc 6 km-en (2. ábra). A közel légiharc rakéta repülési ideje ezen a távolságon 6–12 másodperc, ami azt jelenti, hogy félaktív rávezetés esetén a hordozó/indító helikopter felderítési valószínűsége közelít az egyhez, a megsemmisítési valószínűsége pedig az ellene alkalmazott eszköz megsemmisítési valószínűségéhez [22][35].



2. ábra A vizuális felderítés valószínűsége a távolság függvényében [1][22]

A merevszárnyú tűztámogató repülőgépek hiánya miatt, nem hátrány, ha a beszerzésre kerülő eszköz nagyobb indítási távolságú, nagyobb megsemmisítő képességű irányítható rakéták indítására is alkalmas.

Szükséges, hogy a helikopter fedélzeti célzó-navigációs komplexuma, minden időjárási körülmények között és minden napszakban biztosítsa a helikopter bevethetőségét és a fedélzeti fegyverek alkalmazhatóságát. Ehhez elengedhetetlen egy milliméteres hullámsávban működő rádiólokátor, természetesen térképező üzemmóddal, egy infravörös tartományban működő passzív érzékelő – hőpelengátor, és/vagy hőképkalkotó kamera – és egy lézer távolságmérő-célmegjelölő. A látható EMH⁸ tartományában működő tv kamera megléte nem szükségszerű. Az optikai rendszerek elhelyezése legcélszerűbb a fülketetön, vagy a forgószárny fölött, mert így a helikopter takarásból is képes felderítést és rávezetést végrehajtani. Mindenképpen figyelmet

⁸ EMH – elektromágneses hullám

kell fordítani annak lehetőségére, hogy a helikopter képes legyen együttműködésre a kötelékben lévő más helikopterekkel. Ez azt jelenti, hogy a hatékony célelosztás, illetve a félaktív rakéták alkalmazása esetében, a kölcsönös célmegjelölés érdekében, a kötelék helikopterei egy automatikus rádió csatornán keresztül kommunikáljanak egymással. Azt a lehetőséget sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy harci helikopter rajonként egy, úgynevezett légi vezetési pont rendszeresítése, jelentősen megnövelheti a helikopterek hatékonyságát. Nem tartozik szorosan a harci helikopterek modernizációjához, de arra is van lehetőség, hogy a szárazföldi támogatott alakulatok kötelékébe tartozó kézi, vagy más eszközön található pl. lézer megvilágító berendezés segítségével történjen a cél megjelölése. Természetesen ez csak abban az esetben lehetséges, ha a kompatibilitás biztosított. Az előzőekben bemutatottak miatt hasznos, ha a helikopter alkalmas bombavetésre.

Passzív és aktív önvédelem

A harci helikopterek repülésüket a harctevékenység során kis magasságon, a feladat függvényében, általában a lehető legnagyobb sebességgel hajtják végre. Erre több okból is szükség van. Egyrészt: minél nagyobb a helikopter vízszintes sebessége, annál pontosabban lehet alkalmazni a nemirányítható fegyvereket, mivel nem hat rájuk olyan mértékben a helikopter vibrációja. Másrészt: a helikopter felderíthetősége annál kisebb minél kisebb magasságon és minél nagyobb sebességgel repül. A rádiólokátorok a föld közelében repülő helikoptert nehezebben tudják felderíteni, illetve a sebességből következik, hogy a domborzat takarásából hirtelen felbukkanó helikopter, ugyanolyan gyorsan el is tűnik a domborzati viszonyok miatt, így az ellenség légvédelmi eszközeinek a lehető legkisebb a ráhatása az eszközre.

A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy 2–3 km az a távolság, amelyen a helikopter felderíthetőségi valószínűsége kellően alacsony, viszont a fedélzeti nemirányítható fegyverek, illetve gépágyú hatékonyan 1,5–2 km távolságból alkalmazhatók. Ezért nagyon lényeges az irányítható fegyverek megléte, mert azok indítási távolsága általában 6–7 km esetenként 8–10 km-t is elérheti. A helikopter vizuális-, akusztikai-, infravörös- és rádióhullám tartományokban lehet felderíteni. Éppen ezért egy korszerű harci helikopter kialakításában mindenképpen törekedni kell a felderíthetőség csökkentésére, valamint az úgynevezett lopakodó tulajdonságok növelésére. Ezt a következő kialakításokkal, szerkezeti megoldásokkal lehet megvalósítani, így csökkentve a helikopter észlelhetőségét:

- a hajtóművek kiáramló gázainak visszahűtése a környező levegőhöz közelire, ezzel csökkentve a helikopter infravörös kisugárzását, ami nagymértékben befolyásolja a felderítési távolságot;
- a helikopter sárkányszerkezete úgynevezett lopakodó (stealth) eljárásoknak megfelelően készüljön, tartalmazzon sok kompozit anyagot, illetve rádióhullámokat elnyelő (abszorbens) vagy szétszóró bevonattal, speciális festéssel rendelkezzen. A hajtómű szívócsatorna kialakítás feleljen meg a lopakodó technológiának, a forgószárny kompozitból készüljön, a forgószárnyagy speciális bevonattal vagy burkolattal rendelkezzen. Az elektromos berendezések elektromágneses kisugárzását minimálisra kell csökkenteni;
- akusztikai felderíthetőség csökkentése érdekében nagyobb lapátszámú és alacsony fordulatszámú forgószárny, a faroklégcsavar esetében is a nagyobb lapátszámú – gyakorta

4 lapátos, X elrendezésű –, vagy „fenestron”⁹ kialakítás alkalmazása a legpraktikusabb; (A NOTAR¹⁰ ebben az esetben a működéséből következően nem jöhet szóba, mert lövedék találat esetén jelentősen csökkenhet a hatásfoka, ami akár az irányíthatóság elvesztéséhez is vezethet.)

- a célzó-navigációs és a hírközlő berendezések csak a szükséges időtartamra és energiával bocsássanak ki elektromágneses hullámokat;
- vizuális felderíthetőség csökkentésére a földrajzi területnek, illetve az évszaknak megfelelő álcázó festés alkalmazása a legcélravezetőbb, valamint a pilótafülke üvegezésének, minimális fényvisszaverő képességűnek és matt színezésűnek kell lennie; a gép sziluettje a legkisebb geometriai méretű és kevésbé éles kontúrú legyen. [37]

A helikopter túlélőképessége – itt elsősorban a harci túlélőképesség értendő – legfőképpen a teljes repülőszerkezet, elsősorban a sárkányszerkezet kialakításától függ. Ehhez elengedhetetlenül szükséges a létfontosságú elemek megkettőzése esetleg árnyékolása, valamint a hatékony páncélvédelem. A helikopter berendezéseinek elhelyezését úgy kell megválasztani, hogy a létfontosságú gépészeti és avionikai berendezések, a berendezés tér (terek) belső részére, eléjük pedig egy kevésbé fontos, vagy dublázott berendezés kerüljön, így biztosítva az előbbi hathatósabb védelmét. Erre mindenképpen szükség van, mert tömeg és hatékonysági okok miatt nincsen lehetőség a teljes helikopter páncélvédelmére. Viszont azokon a területeken, ahol a páncélvédelem biztosított, a védelem szintjének meg kell felelni a következő általános elvárásoknak:

- a védett zónákban a páncélzatnak el kell viselnie a 23 mm-es gépágyú lövedékek közvetlen találatát;
- a pilótafülke páncélüvegezése el kell, hogy viselje a kézi lőfegyverek, maximum 12,7–14,5 mm-es lövedékeinek közvetlen becsapódását, valamint a 23 mm-es gépágyú lövedék repesztalálatait;
- a hajtóművek elhelyezése (kölcsonös helyzete) olyan legyen, hogy egyetlen találattal ne lehessen üzemképtelenné tenni mindkettőt;
- a forgószárny lapátok szintén nagy lövésállóságúak (lásd a 3. ábrát) legyenek, aminek a szálerősítésű, kompozit anyagok felelnek meg a legjobban¹¹.

A mai korszerű helikopterek – itt nem csak a harci helikopterek értendők – aktív és passzív önvédelme biztosítja az avionikai eszközök, elsősorban a kommunikációs és a célzó-navigációs komplexumba tartozó eszközök zavarvédeltségét. Ehhez elengedhetetlenül szükségesek a különböző besugárzásjelző berendezések, melyek közül a korszerűbbek az ellenség eszközei által kisugárzott EMH hullámhosszától és jellegétől függően figyelmeztethetik a helikoptervezetőt az eszköz veszélyességi szintjére. Például: lokátor felderítő üzemmódban kevésbé veszélyes szintet jelent, mint ugyanez a lokátor célkövetési, vagy rakéta rávezetési üzemmódban. Szükség esetén legyen lehetőség valamilyen ellentevékenységre végrehajtására pl.: infracsapda, vagy dipólkivetésére.

A túlélőképességhez hozzátartozik a tűz és robbanás megelőzése is. A helikopternek rendelkeznie kell hajtóműtérbe beépített, automatikusan működő tűzoltó-berendezéssel. Célszerű, ha

⁹ fenestron: a latin fenestra ablak szóból ered. Egy csőlégcsavarként kialakított faroklégcsavar.

¹⁰ NOTAR: mozaikszó a NO TAIL Rotor angol szavak kezdőbetűiből, jelentése faroklégcsavar nélküli.

¹¹ A kompozit anyagból készült forgószárny a rádióhullámok visszaverődése szempontjából is előnyös, csökkenti az effektív visszaverő felületét a helikopternek.

a robbanás elkerülése érdekében az üzemanyag tartályok túlnyomásos rendszere semleges gázzal (CO₂) működik, illetve a tartályok valamilyen rugalmas, esetleg „önforrasztó” anyagból készülnek, melyek találat esetén minimálisra csökkentik az üzemanyag elfolyást.



3. ábra Az AH-64 két titánfőtartós forgószárnylapátja, a gépágyú lövedék találatát követően öt órán keresztül megőrizte működőképességét [22]

A helikopternek mind a hajtóművét, mind pedig az avionikai berendezéseit konstrukciósan fel kell készíteni különböző földrajzi helyeken, bármilyen időjárási viszonyok között történő üzemeltetésre. Ennek megfelelően a hajtóműve rendelkezzen por elleni védelemmel, illetve hatékony hűtőrendszerrel, valamint az egyik hajtómű üzemképtelenné válása esetén legyen képes folytatni a repülést és biztonságban leszállni. Ebből következik, hogy repülésbiztonsági szempontból mindenképpen a kéthajtóműves változatot kell előnyben részesíteni. Mind a helikopter, mind pedig a személyzet túlélőképessége érdekében fontos, hogy a helikopter fülkéje hermetizált legyen az ABV¹² fegyverek elleni védelem érdekében, ami természetesen együtt jár a túlnyomásos fülke kialakításával, klimatizálásával, ami a személyzet komfortérzetét növeli és így nagymértékben befolyásolja a harci feladat végrehajtásának minőségét.

A harci helikopter passzív védelméhez hozzátartozik kényszerleszállás elviselése is. Bár sok esetben nem beszélhetünk leszállásról, inkább a becsapódás következményeinek csökkentéséről. Konstrukciósan a helikopter futóműve olyan kialakítású legyen, hogy 5–6 m/s sebességű becsapódást még roncsolódás nélkül viseljen el. Erre legjobban a hosszúlökötű, karos, nem behúzható futómű felel meg. A futómű speciális kialakítása mellett lényeges még a személyzet részére speciális energiaelnyelő ülések kialakítása, valamint a fülke alsó részének energiaelnyelő zónákkal történő ellátása. Az eddig felsoroltak alapján a helikopter 12 m/s-os sebességig történő becsapódása esetén biztosítva legyen a személyzet sérülésmentes túlélése.













A harci helikopterek túlélőképességét nem csak az a passzív védelem befolyásolja, amelyik a már felderített helikoptert megvédi a találatok esetén, illetve a már találatot kapott helikopter esetében biztosítja a személyzet túlélését, hanem a helikopter olyan speciális kialakítása, amely csökkenti a felderítés lehetőségét. Ezt befolyásolja a helikopter geometriai mérete és egyéb konstrukciós kialakítása is. A 4. ábrán látható, hogy különböző felderítő eszközökkel, beleértve

¹² ABV – atom-, biológia- és vegyi fegyverek

az emberi érzékszerveket is, milyen felderíthetőségi lehetőségei vannak bizonyos típusú helikoptereknek. Az ábra a RAH-66 „Comanche” harci helikopter lehetőségeit hivatott bizonyítani. A helikopter fejlesztését törölték, még 2004 februárjában [32].

A 4. ábrából vizuálisan is kiderül mindaz, ami az amerikai LHX program célja volt. Egy olyan korszerű, nehezen felderíthető helikopter megalkotása, amelyik paramétereiben felülmúlja a korábbiakat és ezzel olyan potenciális előnyhöz jut, amellyel azok nem rendelkeztek. Az összehasonlításban, ha a RAH-66 „Comanche” helikopter jelenti az egy egységet és a következő feltételek és eszközök esetében történik a felderítést:

- rádiólokátor: 10 GHz-es frekvencia tartományban, a helikopter szemből közeledik;
- infravörös: a Stinger rakéta infravörös célkoordinátorát véve alapul, a helikopter oldalnézeti sziluettjét vizsgálva és elhanyagolva a Nap sugárzását;
- akusztikus: mérsékelt környezeti zajjal számolva, a helikopter szemből közeledik;
- vizuális: szabad szemmel, terepháttérrel.

A felderítés típusa	OH-58D	RAH-66	AH-64
Rádió 10 GHz-es tartományban a helikopter szemből közeledik	 263X 32X	 X	 663X
Infravörös a Stinger rakéta infravörös célkoordinátorát véve alapul, a helikopter oldalnézetéből, a Nap sugárzása kiküszöbölve	 1.15X	 X	 2.75X
Akusztikus mérsékelt környezeti zajjal számolva, a helikopter szemből közeledik	 1.1X	 X	 1.6X
Vizuális szabad szemmel, terep háttérrel	 1.2X	 X	 1.8X

4. ábra A RAH-66 helikopter felderíthetősége [1]

Az ábrán alapján megállapítható, hogy a RAH-66 helikopter messze felülmúlta a jelenleg is üzemben tartott típusokat. Más típusú helikopterekről nem található hasonló összehasonlítás. Ennek több oka is lehet. Egyrészt, a gyártók féltve őrzött titka, mert például nem túl jók a helikopter hasonló paramétereit. Másrészt, nem végeztek hasonló kísérleteket és így nem rendelkeznek információval. Azonban ismerve a Mi-28 és Mi-24 harci helikopterek geometriai méretét és a tervezés/gyártás során alkalmazott álcázó festéseket valószínűsíthető, hogy a viszonyítási számok hasonlóak, vagy még magasabbak – Mi-24 esetében – lennének, mint pl. az AH-64-esé [1].

KÖVETKEZTETÉSEK

Az elvégzett elemzések alapján megállapítható, hogy a harci helikopterek fedélzetén alkalmazott tűzfegyverek meglehetősen elengedhetetlen, mert hatékonyan támadható vele akár földi, akár légi cél is. Az is megállapítható, hogy a páncéltörő képességük korlátozott, így mindenképpen elengedhetetlen nagyobb páncéltörő képességekkel rendelkező nemirányítható, illetve irányítható rakéták alkalmazása is.

A kor követelményeit figyelembe véve szükséges, hogy a harci helikopter képes legyen hatékonyan megvédeni önmagát és ehhez nélkülözhetetlen a közel légiharc rakéták indításának lehetősége. Ezen kívül pozitívuma lehet a harci helikopternek, ha közepes vagy nagy hatótávolságú felszíni célok elleni támadó rakéta alkalmazására is képes.

Az elemzésekből az is megállapítható, hogy **a felfegyverzett többfeladatú helikopterek**, mivel nem rendelkeznek páncélzattal, **nem képesek hatékonyan felvenni a harcot** az ellenséges harci helikopterekkel, így nem képesek helyettesíteni azokat.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Szilvássy László: A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben, ZMNE Budapest, 2008. szeptember 11. „Summa cum laude”, (e-dok.), url: <http://ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/9912/Teljes%20szöveg%21?sequence=1&isAllowed=y>
- [2] Szilvássy László: A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben, (Tanulmány a szerző ZMNE Katonai Műszaki Doktori Iskolában megvédett doktori (PhD) értekezésének főbb eredményeit mutatja be). MTA DAB Műszaki Szakbizottsága, Elektronikus Műszaki Füzetek X. Debrecen, 2011., ISBN 978-963-7064-26-5, (e-dok.), url: http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/musz_fuz_jo_04.pdf
- [3] Szilvássy László: Mi-24VM, Repüléstudományi Közlemények XV/2., p. online, 7 p., (2003), (e-dok.), url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2003_cikkek/szilvassy_laszlo.pdf
- [4] Szilvássy László, Dr. Szabó László: A Mi-24VM harci helikopter, Repüléstudományi Közlemények XVIII/1., pp. 73-78., (2006), (e-dok.), url: http://dr.sziszilaci.hu/pub/2006-18-SzL-SzL-A_Mi-24VM_HH.pdf
- [5] Szilvássy László: AH-64 Apache harci helikopter Repüléstudományi Közlemények XVIII/2., 8 p., (2006), (e-dok.), url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2006_cikkek/szilvassy_laszlo_ah64.pdf
- [6] Szilvássy László: Katonai helikopterek alkalmazási lehetőségei, Szolnoki Tudományos Közlemények X., Cd kiadvány (2006), (e-dok.), url: http://dr.sziszilaci.hu/pub/2006-20_Kat_hel_alkalm_lehet.pdf
- [7] Szilvássy László: Mi-28 Havoc harci helikopter, Repüléstudományi Közlemények XVIII/2. p. online, 7 p., (2006), (e-dok.), url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2006_cikkek/szilvassy_laszlo_mi28.pdf
- [8] Szilvássy László: A harci helikopterek fejlődése a hőskortól napjainkig, Szolnoki Tudományos Közlemények XI., p. online, 11 p., (2007), (e-dok.), url: http://www.szolnok.mtesz.hu/sztk/kulonszamok/2007/cikkek_pdf/Szilvassy_Laszlo.pdf
- [9] Szilvássy László: A harci helikopterek kiválasztása során alkalmazott paraméterezett összehasonlító eljárás, Repüléstudományi Közlemények XIX/2., p. online, 14 p., (2007), (e-dok.), url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2007_cikkek/szilvassy_laszlo_parmeterezett.pdf
- [10] Szilvássy László: Harci helikopterek hatékonysági követelményeinek rangsorolása, Repüléstudományi Közlemények XIX/2., p. online, 6 p., (2007), (e-dok.), url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2007_cikkek/szilvassy_laszlo_hatekonysagi_rangsor.pdf
- [11] Szilvássy László: Helikopterek összehasonlítása - Paraméterezett összehasonlító eljárás Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények. XI/1. pp. 44-53, (2007), (e-dok.), url: http://dr.sziszilaci.hu/pub/2007-27_HH_osszehasonlitasa.pdf
- [12] Szilvássy László: Harci helikopterek modernizációs lehetőségei a magyar honvédségben, Szolnoki Tudományos Közlemények XII., p. online, 15 p., (2008), (e-dok.), url: <http://www.szolnok.mtesz.hu/sztk/kulonszamok/2008/cikkek/szilvassy-laszlo.pdf>
- [13] Szilvássy László: Harci helikopterek fedélzeti tűzér fegyverei, Repüléstudományi Közlemények XIX/2., p. online, 6 p., (2008), (e-dok.), url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2008_cikkek/Szilvassy_Laszlo.pdf
- [14] Szilvássy László: Az A129 (T129) harci helikopter, Repüléstudományi Közlemények XX/2., p. online, 9 p. (2009), (e-dok.), url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2009_cikkek/Szilvassy_Laszlo.pdf
- [15] Szilvássy László: Harci helikopterek fegyverei I. – Tűzfegyverek és nemirányítható rakéták, Repüléstudományi Közlemények XXI/4. p. online, 10 p., (2009), (e-dok.), url: http://www.repulestudomany.hu/foirolat/2009_4/2009_4_Szilvassy_Laszlo.html

- [16] Szilvássy László: Harci helikopterek fegyverei II. – Irányítható rakétafegyverzet, Repüléstudományi Közlemények XXII/1., p. online, 9 p., (2010), (e-dok.), url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2010_1/2010_1_Szilvassy_Laszlo.html
- [17] Szilvássy László: Ka-52 harci helikopter, Repüléstudományi Közlemények XXIII/1., pp. 87-92, (2012), (e-dok.), url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2012_1/Szilvassy_Laszlo_Ka-52.pdf
- [18] Szilvássy László: Harci helikopter modernizáció kérdései, Repüléstudományi Közlemények XXV/1., pp. 236-262.(2013), (e-dok.), url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2013_1/2013-1-20-Szilvassy_Laszlo.pdf
- [19] Szilvássy László: Aviation antitank missile AT-16 "Scallion" (9A4172 "Vikhr") Repüléstudományi Közlemények XXVI/3., pp. 28-33 (2014), (e-dok.), url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2014_3/2014-3-03-0178_Szilvassy_Laszlo.pdf
- [20] Szilvássy László, Papp István: A Magyar Honvédség helikoptereinek modernizációs kérdései, ECONOMICA (Szolnok) (ISSN: 1585-6216) (4) pp. 295-304. (2015), (e-dok.), url: <http://tudomany.szolportal.hu/downloadmanager/details/id/3003739/>
- [21] Szilvássy László: Repülőfedélzeti irányítható páncéltörő rakéták és azok összehasonlítása, Repüléstudományi szemle 2016, ISBN 978-615-5057-70-0, Nemzeti Közszerződési Egyetem Katonai Repülő Intézet 2016, pp. 151-176, (e-dok.), url: <http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2016.pdf>
- [22] Óvári Gyula: Biztonság- és repüléstechnikai megoldások katonai helikopterek harci túlélőképességének javítására, Repüléstudományi Közlemények 2005/2. pp. 1-14 p., (e-dok.), url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2005_cikkek/ovari_gyula.pdf
- [23] Óvári Gyula: A Stealth repülőgépek szerkezeti kialakításának néhány kérdése, Haditechnika 1991/4. pp. 3-7
- [24] Óvári Gyula: Korszerű csapásmérő helikopterek harcászati-technikai jellemzői, alkalmazási lehetőségei, Katonai logisztika, 2000/2, pp. 147-180
- [25] Óvári Gyula: Autorotálni, katapultálni vagy lezuhanni? Haditechnika 28(4) pp. 2-9, (1992)
- [26] Szabó Sándor András: „Öreg pilóta nem vén pilóta” Élettani korlátozó tényezők és szellemi teljesítmény az életkor függvényében a pilóta és az U(C)AV operátor minősítése szempontjából, Repüléstudományi Közlemények 2012/2. pp. 502-514 p., (e-dok.), url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2012_cikkek/39_Szabo_Sandor_Andras.pdf
- [27] Kelecsényi István: Döntés a harci helikopterről: a Mi-24 utódja a felújított Mi-24..., (e-dok.), url: <http://iho.hu/hir/dontes-a-harci-helikopterrol-a-mi-24-utodja-a-felujitott-mi-24-170410>
- [28] Liszcai János: Felújítják a magyar Mi-24-eseket!!!, (e-dok.), url: <https://htka.hu/2017/04/05/felujitjak-magyar-mi-24-eseket/>
- [29] Index: Minek nekünk szovjet helikopter? (e-dok.), url: https://index.hu/belfold/2017/05/25/minek_nekunk_szovjet_helikopter/
- [30] Zord Gábor László: Milliárdokért javítják a honvédség helikoptereit az oroszok, értelmetlenül, url: <https://mno.hu/kulfold/milliardokert-javitjak-a-honvedseg-helikoptereit-az-oroszok-ertelmetlenül-2405605>
- [31] Kakula János: Robbanóanyagok és a robbanás hatásai, Magyar Néphadsereg Kilián György Repülőműszaki Főiskola, Szolnok, 1990, 97-115, 116-126. oldal
- [32] GlobalSecurity.org: RAH-66 Comanche, (e-dok.), url: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/rah-66.htm>
- [33] GlobalSecurity.org: RAH-66 Comanche capabilities, (e-dok.), url: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/rah-66-capabilities.htm>
- [34] Wikipedia The Free Encyclopedia: S-8 rocket, (e-dok.) url: https://en.wikipedia.org/wiki/S-8_rocket
- [35] Rafael – Lockheed Martin: Python 4 Short Range Air-to-air missile (CD2000)
- [36] GlobalSecurity.org: Hydra-70 Rocket System, (e-dok.) url: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/hydra-70.htm>
- [37] GlobalSecurity.org: AGM-114 Hellfire (e-dok.) url: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/agm-114.htm>
- [38] Kormos László: A helikopterek katonai alkalmazása (e-dok.) url: <http://www.zmne.hu/kulso/mhtt/hadtudomany/1998/ht-1998-3-7.html>
- [39] Békési Bertold: A katonai repülőgépek üzemeltetésének, a kiszolgálás korszerűsítésének kérdései. PhD értekezés. ZMNE, Budapest, 2006. url: http://uni-nke.hu/downloads/konyvtar/digitgy/phd/2006/bekesi_bertold.pdf
- [40] Wikipedia The Free Encyclopedia: Mil Mi-17: A Mi-171E helicopter of the Iraqi Army Aviation Command, (e-dok.), url: https://en.wikipedia.org/wiki/Mil_Mi-17#/media/File:Iraqi_Mi-171E_helicopter.jpg

- [41] LiveJournal: Боевой Российский вертолет Ми-35М ‘летающий танк’ дебютирует в Сирийской войне, (e-dok.), url: <https://vseneobichnoe.livejournal.com/4144843.html>
- [42] Wikipedia The Free Encyclopedia: Attack helicopter, e-doc., url: https://en.wikipedia.org/wiki/Attack_helicopter
- [43] Juhász János A harci helikopterek feladatrendszere és a velük szemben támasztott követelmények a NATO-ban, „A Mi-24 harci helikopterek korszerűsítése” tudományos konferencia előadása, Katonai Logisztika 8. évfolyam, 2000/2, 133-1147. oldal
- [44] Hadtudományi lexikon, MHTT, Budapest 1995, p. 509

ATTACK VS. ARMED UTILITY HELICOPTERS

The author highlights the difference between attack and armed utility helicopters and supports this with professional arguments. It also presents the weapons system of combat helicopters. Point out that an armed transport helicopter or multipurpose helicopter cannot substitute attack helicopters at all.

Keywords: *attack, utility, helicopter, modernization, multipurpose helicopter, weapon system, active, passive defence*

Dr. Szilvássy László
alezredes, egyetemi docens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
Fedélzeti Rendszerek Tanszék
szilvassy.laszlo@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-0455-4559

Szilvássy László, PhD
Lieutenant Colonel, Associate Professor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
Department of Aircraft Onboard Systems
szilvassy.laszlo@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-0455-4559



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-16-0444_Szilvassy_Laszlo.pdf

Lukács László, Kovács Zoltán, Tóth Rudolf

ROMBOLT REPÜLŐTEREK HELYREÁLLÍTÁSÁNAK MŰSZAKI FELADATAI

A biztonsági szakértők szerint a hidegháború veszélyének megszűnésével a szövetségi rendszerek között háborús konfliktusok bekövetkezésének az esélye egyre csökken. Ennek ellenére nem zárható ki egy olyan fegyveres konfliktus, amikor katonai célpontként egy repülőteret olyan támadás ér, melynek következtében, a kialakult rombolódások miatt működésképtelenné válik és szükség van annak részleges vagy teljes helyreállítására. Az elmúlt években a szakemberek kutatásaik során a terrortámadásokra helyezték a fő hangsúlyt és megállapították, hogy egy ilyen támadás esetén nem kell számolni a repülőterek teljes rombolódásával. Az utóbbi években kevés szakmai publikáció jelent meg a rombolt repülőterek helyreállításával kapcsolatos műszaki feladatokról, ezért ebben a cikkben ismertetjük, hogy a repülőtereket fegyveres küzdelem esetén milyen eszközökkel lehet működésképtelenné tenni, valamint a helyreállításának milyen alapvető követelményei és műszaki feladatai vannak.

Kulcsszavak: repülőtér, rombolás, robbantás, működésképtelenség, le- és felszállópályák, helyreállítás, műszaki

Az elmúlt évek helyi háború – arab-izraeli, indiai-pakisztáni, afganisztáni iraki stb. – tapasztalatai is azt bizonyítják, hogy a szembenálló felek elsődleges célja a légi fölény kivívása és megszerzése volt. Ezért arra törekedtek, hogy az ellenség repülőgépeit a földön semmisítsék meg és ezzel párhuzamosan a repülőtéri létesítményeket – vezetési pontokat, fel- és leszállópályákat, guruló utakat stb. – olyan mértékben rombolják, hogy a létesítmény működésképtelenné váljon, vagy a helyreállítási feladatok hosszú időt vegyenek igénybe. A támadásokat sok esetben légierő harcászati erőkkkel és eszközökkel hajtja végre, de arra is van példa, hogy a kitűzött célt diverziós erőkkkel vagy speciálisan kiképzett deszant alakulatok bevetésével érték el. Figyelembe véve azt a tényt, hogy a repülőterek nagy kiterjedése miatt igen sebezhetőek, így a légi- és földi védelmük megtervezése és megszervezése meglehetősen nehezen megoldható feladatok elé állítja a szakembereket. [1] Ezért a jövőben nagyobb figyelmet kell fordítani a sérült repülőterek helyreállítási feltételeinek kialakítására, az alapvető műszaki feladatok gyors végrehajtására, amely szorosan összefügg a lehetséges támadások formáival, a rombolódások jellemzőivel és mértékével.

REPÜLŐTEREK ROMBOLÁSÁNAK, MÓDJA, ROBBANTÁSSAL TÖRTÉNŐ VÉGREHAJTÁSÁNAK JELLEMZŐI ÉS AZ ERRE VONATKOZÓ SZABÁLYOK VÁLTOZÁSA

A műszaki csapatok, minden hadseregben sajátos kettősség jegyében látják el feladataikat. Felszerelésük és kiképzettségük folytán egyaránt képesek rombolni és építeni. Aknamezők telepítésével védik saját csapataikat (egyben személyi és technikai veszteségeket okoznak a rájuk támadóknak), másrészt az ellenséges aknamezők eltávolításával biztosítják harcoló bajtársaik biztonságát. Utakat és hidakat építenek, de ugyanúgy képesek ezek rombolására is. E képességük igaz a katonai repülőterekre is, melyek rombolása, ugyanakkor fenntartása és a rombolások helyreállítása egyaránt feladatuk. A cikkben a katonai repülőterek, ezen belül is a futópályák és guruló utak rombolásának szabályait, majd az ilyen jellegű rombolások, helyreállítások lehetőségeit foglaljuk össze.

A Magyar Honvédség műszaki tisztjei – az előzőekben foglaltaknak megfelelően – mindkét feladatot és a rombolás szabályait, a „Robbantás” c. tantárgy keretében ismerik meg.¹ A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Katonai Műszaki Főiskolai Karon folyó, egyben civil építőmérnöki (főiskolai) diplomát adó képzésben a három féléves Közlekedésépítés tantárgyon belül sajátították el a hallgatók a katonai repülőterek építésével és fenntartásával kapcsolatos ismereteket.² A Bologna folyamat kapcsán bevezetett új képzési rendszerben, a Had- és biztonságtechnikai mérnöki alapszak (BSc) Műszaki, katasztrófavédelmi és közlekedési szakirány, Műszaki specializáció keretében folytatódott a műszaki tisztképzés hazánkban. A rendelkezésre álló oktatási idő korlátai miatt, az utolsó évben az első tiszti beosztásra történő felkészítést tűzte ki célul az egyetem. Ennek során az utolsó év a műszaki építő, a harcos műszaki és a műszaki fenntartási alegység parancsnoki ismeretek tantárgyait tartalmazta, a megrendelő igényei szerinti létszámú tanulócsoporthoz tanrendjében. A műszaki építő modul hallgatói (leendő út- és hídépítő, továbbá repülőter karbantartó és helyreállító alegységparancsnokok), valamint a Honvédelmi Minisztérium akkori Ingatlankezelési Hivatal részére képzett létesítmény fenntartási tisztek a „Repülőter karbantartás” c. tantárgy keretében sajátították el a katonai repülőterek fenntartásának és a rombolt repülőterek helyreállításának feladatait³. A Nemzeti Közszolgálati Egyetem megalakulását követően a tanintézményben megszűnt a mérnökképzés. A Katonai vezetői alapképzési szak, Műszaki specializációján belül műszaki-harcos és műszaki-infrastrukturális modulokon folyik a képzés, az infrastrukturális feladatok ellátására kiképzett alegységparancsnokok részére „Repülőter karbantartás” c. tantárgy⁴ keretében.

A hazai bázis repülőterek építésének feladatait, megfelelő ipari háttérrel rendelkező cégek végzik, ahol a Magyar Honvédség, mint megrendelő szerepel. Ugyanakkor a missziós (béketeremtő és békefenntartó) feladatok során elkerülhetetlen a helyi – az utánpótlás és az ellátás biztosítása szempontjából létfontosságú – repülőterek fenntartása, üzemeltetése. Ez az ott települő katonai alakulatok feladata, ezért ilyen képességgel rendelkezniük kell. Ennek a végrehajtásához ad rövid összefoglalást a tanulmány, a repülőterek futópályái és gurulóútjai rombolási, majd ezek helyreállítási lehetőségeinek bemutatásával.

A repülőterek rombolásának, üzemképtelenné tételének lehetséges módjai

A repülőterek elleni támadás és azok rombolása sokféle képen valósulhat meg. Eltérő rombolási módot alkalmaznak és annak mértéke is különböző, ha az adott repülőtéren már közvetlen harcok folytak és teljesen mást, ha azt az ellenség csak tűzérségi, vagy légicsapásokkal támadta. Különböző módszereket alkalmaznak, ha a rombolást a visszavonuló saját csapatok hajtják végre, vagy ha azt az ellenség teszi működésképtelenné.

A repülőterek rombolása történhet:

- ➔ a légierő, a tűzérség és pilóta nélküli repülőeszközök támadásaival, csapásaival;
- ➔ a csapatok harctevékenységgel közvetlenül a repülőtéren vagy annak közelében;
- ➔ katonai műveletek keretében különleges részlegek, diverziós csoportok tevékenységével.

¹ Bővebben lásd Lukács László: A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Katonai Műszaki Kar, Katonai műszaki tanszéke, Műszaki Katonai Közlöny, 2006/2. szám, 3–12. o.

² ZMNE BJKMFK Építőmérnöki szak, kreditrendszerű oktatásának tanterve – 2001 (a 2002/2003 tanévtől felmenő rendszerben)

³ ZMNE BJKMK Had- és biztonságtechnikai mérnöki alapszak tanterve, 3. kötet, Műszaki, katasztrófavédelmi és közlekedési szakirány – 2005 (a 2005/2006 tanévtől felmenő rendszerben)

⁴ Tanóra-, kredit- és vizsgaterv a katonai vezetői alapképzési szak, Műszaki specializáció részére (a 2013/2014 tanévtől felmenő rendszerben).

A rombolások bármelyik módszer önálló alkalmazásával, vagy azok kombinációjával is történhetnek. Napjainkban a katonai műveletek mellett új elemként számolni kell a repülőterek elleni terrorista-támadásokkal is, amelyeket a fenti, vagy ettől eltérő módszerekkel hajthatnak végre. A rombolás célja főként a repülőtér működőképességét biztosító létesítmények, berendezések tönkretétele, de ezek között is kiemelt jelentősége van a fel-/leszálló pályáknak, a guruló- és bekötő utaknak, az energetikai és ellátó hálózatoknak, a szolgálati és üzemi építményeknek, valamint az üzemanyag-, illetve lőszerraktáraknak.

A fentieken túl a repülőtereket üzemképtelenné lehet még tenni az alábbi módszerekkel:

- gyúlékony anyagból készült létesítmények és szerkezetek felgyújtásával;
- a felszálló pályák és objektumainak mechanikus eszközökkel történő tönkretételével;
- a futópályákon a fel- és leszállást akadályozó mechanikus eszközök elhelyezésével;
- a repülőtéri objektumok, futópályák, guruló- és bekötő utak aknásításával;
- a repülőtér területének, létesítményeinek radioaktív, mérgező vagy biológiai eszközökkel történő szennyezésével;
- az építmények, berendezések szerkezeti elemeinek kiszerezésével;
- a repülőtér, vagy a fel- és leszálló mezők elárasztásával.

A rombolás leghatásosabb módja az atomtöltetek alkalmazása, de napjainkban ezzel nem kell számolni, az bevetésük esélye kicsi. A gyakorlatban leginkább elterjedt a hagyományos robbanóanyagok felhasználásával történő rombolás, amely megvalósulhat összpontosított, nyújtott és kumulatív töltetekkel. Összpontosított töltetként alkalmazhatók repülőbombák, aknák, tüzérségi löszerek vagy egyéb robbanóanyaggal töltött szerkezetek, amelyeket a vasbeton pályákon a hézagoknál vagy dilatációs réseknel célszerű elhelyezni. A betonburkolatú fel- és leszálló pályák rombolására javasolt szállítás-gátló és építményromboló aknák alkalmazása, a repülőtér füves részeit pedig 50–100 m kiterjedésű harcokosi elleni és vegyes aknamezőkkel kell üzemképtelenné tenni. Elárasztással történő rombolás csak a mélyen fekvő repülőterek, fel- és leszálló pályák esetén jöhet szóba, amely történhet a repülőtéren lévő vízgyűjtő és vízelvezető rendszer eltömítésével, a közelben lévő víztárolók völgyzáró gátjainak, zsilipjeinek rombolásával, valamint a közeli folyókból, tavakból, csatornákból a vizek felszálló pályákra történő vezetésével. Az elárasztás következményeként a felszálló mező és környezete mélyen felázhat, hordalékok rakódhatnak le rá, valamint az áradás elmoshatja az utak és építmények egyes szakaszait.

E cikk terjedelme nem teszi lehetővé a repülőterek és létesítményei minden rombolási módjának és azok jellegének átfogót ismertetését, ezért e fejezetben csak a leszálló pályák és guruló utak robbantással történő rombolásának jellemzőit, illetve ezek végrehajtási szabályainak fejlődését tekintjük át. Nem foglalkozunk a repülőtéri egyéb létesítmények rombolásával.

A repülőterek robbantással történő rombolásának jellemzői, a végrehajtás szabályainak és előírásainak változása

Az irodalomjegyzék anyagai közül a [6][7][8][9][10][11][12][13][14][15] – robbantással foglalkozó – szabályzatok, utasítások adták a fejlődéstörténeti áttekintés vázát. Ezeket elemezve azt tapasztalható, hogy az 1945 előtti, főleg német alapokon nyugvó szabályozásban sehol nem találkozunk a repülőterek robbantásos rongálásával. Ez azért is érdekes, mert ugyanakkor már az 1903-as [8], majd különösen az 1928-as kiadvány [9] nagyon széleskörű és szakmailag korrekt

ismeretekről tesz tanúbizonyságot úgy a föld,⁵ mint az építési anyagok (tégla, kő, beton, vasbeton) robbantása⁶ terén. Ehhez kapcsolódóan az utóbbi széleskörűen foglalkozik a „X. Megszakítások” című fejezetben az utak, vasutak, hidak robbantásával (281–353 oldal), viszont repülőterekkel nem. A II. világháború utáni – orosz eredetiből fordított – szakutasítások viszont egytől-egyig kitérnek erre a robbantási feladatra is. Az elsőként megjelent 1950-es Robbantási segédlet összesen négy rövid bekezdést szentel erre. Ezen belül a 190. oldalon a fel- és leszállópályákon tölcserék és árkok robbantását javasolja, a talajba 1–1,5 mélyre ásott töltetekkel [11]. Ezek tömegét a földrobbantás fejezetben bemutatott 12. számú táblázat szerint kellett meghatározni.

A Segédletet még ugyanabban az évben követő Ideiglenes robbantási utasítás ugyanezeket a szabályokat fekteti le a 258–261. pontjaiban [12] azzal a különbséggel, hogy a szükséges töltetek meghatározásakor csak a földrobbantás fejezetben bemutatott képlet alkalmazására utal, segéd-táblázatot már nem közöl. A két szakutasítás kapcsán jogosan vetődik fel a kérdés, hogy miért nem számol szilárd burkolatú repülőtérral, hiszen töltetszámításra csak a földrobbantás szabályait alkalmazza.

A töltet elhelyezkedésének mélysége a talajban (ellenállási vonal)	A kapott tölcser mérete [m]		Az alacsony hatóerejű robbanóanyag töltet tömege különböző talajokban [kg]			
	mélység	átmérő	homokos, kavicsos föld	nedves homok	agyagos homok és köves talaj	igen kemény agyag
1,0	1,4	4,0	5,1	6,7	7,8	10,0
1,25	1,9	5,0	10,0	13,2	15,6	19,8
1,5	2,1	6,0	17,2	22,5	26,4	33,5
2,0	2,8	8,0	41,0	53,0	62,0	80,0
2,5	3,5	10,0	84,0	106,0	125,0	160,0

1. táblázat Töltettáblázat földrobbantáshoz alacsony hatóerejű robbanóanyag alkalmazásakor [11]

Az 1965-ben bevezetett Robbantási utasítás [13] már ezt a problémát is kezeli. A 303–312. pontokban leírtakat összefoglalva a fel- és leszállópályák robbantására vonatkozóan:

- föld burkolat esetén legalább 10 m átmérőjű, legfeljebb 2,5 m mély tölcserék robbantása úgy, hogy
- ne maradjanak a pályán 25 m-nél szélesebb és 300 m-nél hosszabb sávok;
- hektáronként 1–2 tölcser legyen;
- guruló utakon 100 m-ként 1–2 tölcser;
- mesterséges burkolatban 100 méterenként 5–10 tölcser (a betonrobbantás képletét alkalmazva);
- a töltetek lehetőség szerint vízgyűjtő aknában és vízleeresztő csövekben kell elhelyezni (az előkészítő munkák idejének csökkentésére);
- alkalmazhatók repesz- és romboló bombák is e feladatra;
- ha nem lehetséges belső (aknakútban, aknakamrában elhelyezett) töltetek alkalmazása, akkor a sokkal több robbanóanyagot igénylő, a talajra szabadon elhelyezett töltettel is végrehajtható a föld burkolatú részek rombolása, de ebben az esetben, a megadott képlettel számolva, pl. homokos agyag talaj esetén, még egy 6 m átmérőjű tölcserhez is több mint 700 kg-os töltetre lenne szükség.

A jelenleg is hatályos Robbantási utasítás [14] 290–293. pontjaiban foglaltak sok tekintetben megegyeznek 1965-ös elődjével, vagy pontosítják azt:

⁵ Bővebben lásd Lukács László: Szemelvények a földrobbantás elméletének és gyakorlatának fejlődéséből, Műszaki Katonai Közlöny, XXVII. évf. 2017/1. szám, 25–46. o.

⁶ Bővebben lásd Lukács László: Tégla, kő, beton és vasbeton szerkezeti elemek robbantási szabályainak fejlődése a honi katonai robbantástechnikában, Műszaki Katonai Közlöny, XXII. évf. 2012/1. szám, 55–84. o.

- a mesterséges burkolat nélküli pályáknál marad a hektáronkénti 1–2 tölcsér, viszont annak mérete, a mesterséges burkolatnál 300–400 m-ként előírt 5–10 db, 5–6 m átmérőjű és 1,5–2,0 m mély tölcsérré redukálódik;
- változatlan a bombák alkalmazhatósága, és a vízelvezető berendezések felhasználhatósága a töltetek elhelyezésére; utóbbi esetben annyi pontosítást tesz, hogy duplájára növeendő a robbanóanyag tömege, ha nem lehetséges annak a fojtása;
- pontosítja a mesterséges burkolat nélküli pálya szabadon felfektetett töltettel való robbantásának a képletét is, így a fentebbi példa adatai szerinti számítás eredményeként már csak mintegy 360 kg robbanóanyag szükséges;
- új elem a beton burkolatú pályák dilatációs hézagainál elhelyezett 10–15 kg-os külső, összpontosított töltetekkel történő robbantás lehetősége.

Ahhoz, hogy akár egy tábori repülőtér esetén fel lehessen készülni a rombolások felszámolására, az ottani szakalegységek törzseinek előzetes számításokat kell végezniük, hogy az adott talajviszonyok, burkolatvastagság és minőség mellett milyen mértékű károk várhatók. Ehhez a munkához nyújt segítséget a Mű. 219-es Szakutasítás [15], mely 27. mellékletében két táblázatot közöl az objektumot ért esetleges tűzérési vagy légítámadás következtében várható károkról és azok helyreállításának anyagszükségletéről. (2. és 3. táblázat)

A lövedék ürmérete [mm]	A tölcsér átmérője [m]	A tölcsér mélysége [m]	A tölcsér űrtartalma [m ³]	A feltöltéshez szükséges talaj térfogata [m ³]
76	1,9–2,0	0,4–0,5	0,6–0,8	0,4–0,6
100	2,5–2,7	0,6–0,7	1,6–2,1	1,1–1,5
107	2,6–2,8	1,0–1,1	2,7–3,5	1,9–2,5
122	3,8–4,8	1,0–1,2	7,4–11,2	5,2–7,8
152	4,8–5,0	1,3–1,4	12,0–14,0	8,4–9,8
203	5,6–5,8	1,4–1,5	17,5–20,5	12,3–14,3
228	6,3–6,6	1,6–1,7	26–30	18,2–21,0
305	8,0–8,5	4,5–5,5	114–160	80,0–112,0

2. táblázat Lövedékek robbanása következtében keletkezett tölcsérek átlagos méretei puha talajban [15]

A légibomba tömege [kg]	A tölcsér átmérője [m]	A tölcsér mélysége [m]	A tölcsér űrtartalma [m ³]	A feltöltéshez szükséges talaj térfogata [m ³]
10	2,0–2,1	0,9–1,1	1,5–1,9	1,0–1,3
15	3,5–3,6	1,0–1,2	4,9–6,1	3,4–4,3
25	4,2–4,5	1,4–1,5	10,0–12,0	7,0–8,4
50	5,8–6,1	1,5–1,9	20,0–28,0	14,0–19,6
100	7,9–8,2	2,0–2,3	50–63	35–44
250	10,2–10,7	2,9–3,1	125–145	88–100
500	14,0–15,0	3,8–4,1	300–375	210–265
1000	15,0–16,0	4,8–5,3	440–550	310–385

3. táblázat Légibombák robbanása következtében keletkezett tölcsérek átlagos méretei puha talajban [15]

Az 1971-ben megjelent kiadvány adataihoz képest ma már ennél korszerűbb tűzérési eszközök és légibombák alkalmazására kell számítani. Ehhez kívánunk segítséget nyújtani az alábbi, egy 2017-ben megjelent nemzetközi kutatás eredményeit bemutató svájci jelentésből összeállított adatsorral (4. és 5. táblázat).

NATO előírások és követelmények alapján a „Repülőtér üzemeltető és karbantartó” század képességeinek meghatározásakor egy légítámadás esetén azzal kell számolni, hogy annak ka-

pacitása és a szükséges anyagok készletezése tegye lehetővé a meghatározott időn belül a repülőter helyreállítását következő rombolások esetén:

- 6 db bombatölcsér a fel- és leszállópályán;
- 6 db bombatölcsér a guruló utakon;
- 150 db kisebb sérülés a szilárd burkolatokon;
- 8 db fel nem robbant bomba a felszínen;
- 12 db fel nem robbant bomba a felszín alatt;
- 1260 db kazettás bomba a repülőter területén.

Űrméret	Ország	Típus	Össztömeg [kg]	Robbanóanyag	Töltöttömeg [kg]
Aknavető gránát					
81 mm	USA	M821	4,06	Comp B ⁷	0,72
82 mm	Bulgária	HE 82M	3,10	TNT	0,42
120 mm	Belgium	M530A1	15,20	Comp B	2,60
Sorozatvető löszerek					
122 mm ⁸	Szovjetunió	9M22U	66,60	TGAF-5	6,40
122 mm	Törökország	TR-122	65,90	Comp B	6,00
Lövegek löszere					
152 mm	Oroszország	3OF64	43,56	A-IX-2	7,80
152 mm	Szlovákia	HE ER-HB	43,56	TNT	8,10
155 mm	Olaszország	L15A1	43,50	Comp B/TNT	11,60
155 mm	USA	M795	46,90	TNT	10,79
Harcokosi löszerek					
115 mm	Szovjetunió	3UOF37	17,82	A-IX-2	3,13
120 mm	Norvégia	IM HE-T	16,00	OSX-8	3,20
125 mm	Szovjetunió	3OF26	23,00	A-IX-2	3,40
125 mm	Pakisztán	H.E.FS TK	34,15	TNT	4,00

4. táblázat Tüzérségi löszerek robbanóanyag töltete [18; 78–83 o.] alapján

Ország	Típus	Össztömeg [kg]	Robbanóanyag	Töltet tömeg [kg]
USA	MK 82	241,00	TNT	87,00
Szerbia	FAB-250 M79	240,00	TNT	105,00
Románia	BM-250E	250,00	TNT	97,00
Pakisztán	AC 500	241,00	Comp B	90,00
USA	BLU-111	241,00	PBXN-109	87,00

5. táblázat 500 fontos⁹ légibombák robbanóanyag töltete [18]

A bombatölcsérek szabvány méretét az „AD 80–15” sz. direktíva határozza meg, mely szerint 12 m valóságos átmérővel és 3 m mélységgel kell számolni. A tölcsekre tényleges átmérője 6 m, mélysége 1,5 m.

ROMBOLT REPÜLŐTEREK HELYREÁLLÍTÁSÁNAK ELVEI, KÖVETELMÉNYEI, ALAPVETŐ MŰSZAKI FELADATAI

Egy adott ország légierijének harctevékenysége csak akkor lehet sikeres, ha a repülőterek műszaki támogatási feladatai időben és eredményesen lettek végrehajtva. Különösen igaz ez a rombolt repülőterek gyors és szakszerű helyreállításával kapcsolatban, vagy a légierő egységeinek

⁷ TNT – RDX (hexogén) keverék

⁸ BM 21 löszere

⁹ kb. 226,8 kg

más bázisokra, tartalék repülőterekre történő áttelepülésével összefüggésben. Ez a megállapítás napjainkban is helytálló, mert a hadműveletekhez szükséges repülőterek rendszere a meglévő bázisok működőképességének fenntartásával, a sérült vagy rombolt repülőterek helyreállításával vagy alkalmas útszakaszok, síkvidékek szükségrepülőterekké való átalakításával biztosítható. NATO elvárás szerint a tagországoknak 2003 végére olyan mozgékony, műszaki képességekkel rendelkező modul műszaki egységeket (alegységeket) kellett létrehozni, amelyek alaprendeltetése, hogy biztosítsák a Reagáló Erők (RF) számára azokat a feltételeket (pl. repülőterek felszállópályáin, gurulóútjain bekövetkezett rombolások javítása), hogy működhessenek a korlátozott fogadó képességű nemzeti támogatású bázisokról, beleértve kiépítetlen bázisokat is. Ezeknek az egységeknek (alegységeknek) olyan javító kapacitással – állomány és technika, javítóanyag-készletek stb. – kell rendelkezniük, amelyekkel képesek a helyreállításokat úgy elvégezni, hogy a harci repülőgépek 4 órán, a szállítógépek 8 órán belül újra bevethetők legyenek [1].

A rombolt repülőterek helyreállításának fajtái, elvei, követelményei

A repülőtereken a felszálló mezők, guruló utak romosodásának mértéke függ a támadás módjától, formájától, a romboló szerkezetek típusától, a robbanóanyagok fajtáitól, a felszálló mezők, a guruló utak technikai jellemzőitől, a burkolatok szerkezeti megoldásaitól stb.

A helyreállítási munkák viszont a rombolások mértékén túl a harchelyzettől, a repülőtér fontosságától, repülőnemtől, az igénybevétel biztosításának határidejétől, az évszaktól, a helyreállítási munkák végrehajtására biztosított erőktől, az eszközök mennyiségétől stb. függenek. A harci körülmények szerint a rombolt repülőterek helyreállításának az alábbi fajtáit (típusait) különböztethetők meg:

- rövid határidejű helyreállítás;
- ideiglenes helyreállítás;
- teljes helyreállítás.

Egyes esetekben az első kettő egymást követően végezhető, de teljes helyreállítást elsősorban a bázisrepülőtereken célszerű végrehajtani, ideiglenes vagy tartalék repülőtereken nem.

A helyreállítás elvei, követelményei

A rombolt repülőterek esetében, tervezett és ütemezett formában, mindig a legfontosabb elemek helyreállításával összefüggő, de a legkevésbé munkaigényes feladatokat kell végrehajtani. *Első ütemben* a felszálló mező egy sávja és a fő guruló utak, a *második ütemben* a harcálláspont, a guruló utak és a felszálló mező további sávjai, a *harmadik és a további ütemekben* az állóhelyek, a raktárak és a közművek, valamint az épületek javítását, a károk felszámolását célszerű tervezni.

A helyreállítási munkák során a műszaki-technikai követelményeket a repülőtér hadműveleti fontossága, osztályba sorolása, valamint a repülőtér parancsnoka által meghatározottak szerint kell megállapítani. A feladatok első ütemének befejezését követően a repülőtérnek az alkalmazáshoz szükséges minimális technikai követelményeket biztosítania kell.

Harcviszonyok között a rombolt repülőtereken *rövid határidejű* és *ideiglenes helyreállítása* az alábbiak figyelembe vételével történik:

- *rövid határidejű helyreállítás*: a feladatokat úgy kell végrehajtani, hogy biztosítható legyen a minimálisan megengedett méretű füves felszálló mező előkészítésével néhány napra egy repülőegység, alegység települése, egyes repülőgépek fel- és leszállása. Ebben

az esetben a mesterséges burkolatot nem állítják helyre. Kedvezőtlen talajviszonyok esetén a fel-/leszállás biztosítására kivételesen szét- és összerakható acéllemez burkolatokkal megerősíthetők az érintett terepszakaszok;

- *ideiglenes helyreállítás* célja, a légierő településének biztosítása több hetes időszakra. Ilyen esetekben, javítás után, a füves futópályának biztosítani kell a repülőgép kötélek fel- és leszállását. Annak hossza és szélessége feleljen meg az előírt követelményeknek, felületére, valamint a guruló utakra és a gépállóhelyekre az állandó jellegű rombolt mesterséges burkolatok helyett könnyű burkolatok építhetők;
- *rövid határidejű és ideiglenes helyreállítások* esetén rendszerint nem szükséges teljesen körülményesen működőképpé tenni az alagsó, vízlevezető és műszaki hálózatokat, csak azokat, amelyek ideiglenes szerkezetek alkalmazásával részben, vagy teljesen kijavíthatóak. A repülőtéren utak javítása a megsérült szakaszokon merev burkolattal, vagy földburkolattal fedésével, esetleg kerülőutak létesítésével történhet. Rossz talajviszonyokkal rendelkező szakaszokon esős időszakban javasolt szét- és összeszerelhető nyompályás útburkolatok építése. Ilyenkor nem szükséges a megrongálódott különleges építmények javítását sem teljes körűen elvégezni. A minimálisan szükséges mennyiségű különleges építmény (harcálláspont, fedezékek a személyi állomány és a technika részére, vízellátó pont, üzem- és kenőanyag-raktárak, lőszerraktárak) biztosítására az épen maradt építményeket célszerű berendezni, vagy azok egyes szerkezeti elemeit felhasználni. Ilyen célra igénybe vehetők a rendelkezésre álló szét- és összeszerelhető létesítmények is.

A rombolt repülőterek esetében ki kell választani a legcélszerűbb és legkevesebb munkaigényes helyreállítási módot. A javítási és a kárelhárítási munkák mennyisége csökkenthető:

- a füves futópálya hosszának, illetve szélességének a minimálisan megengedett méretekre való lecsökkentésével;
- a felszálló mező hossz tengelyének olyan irányban történő kitűzésével, ahol a legkevesebb lesz a helyreállítási munkák mennyisége;
- a felszálló mező start szakaszának a nagyméretű bombatölcsérektől oldalt való elhelyezésével, a nagyméretű bombatölcsérek nem teljes feltöltésével;
- a földmunkák végrehajtásával és a terület egyengetésével, tömörítésével;
- az épen maradt guruló utak felszálló mezőként történő felhasználásával, a felszálló mező épen maradt részének füves felszálló mezővel való meghosszabbításával;
- a tölcérek közvetlen közelből, elsősorban a felszálló mező irányából lenyesett földdel való feltöltésével úgy, hogy a maximálisan megengedett hossz- és keresztirányú lejtések, továbbá azok csatlakozásai be legyenek tartva.

A helyreállítandó füves repülőtérral szemben támasztott követelmények a következők:

- javítás után a futópálya, a gurulóutak és a gépállóhelyek olyan méretűek legyenek, melyek biztosítják a tervezett mennyiségű, meghatározott típusú és felszálló tömegű repülőgépek fel-/leszállását, gurulását és elhelyezését;
- a futópálya felületének hossz- és keresztirányú lejtése, valamint függőleges ívei feleljenek meg a tábori repülőterekkel szemben támasztott követelményeknek, az adott viszonyok között.

A helyreállítandó burkolatok javítása során az alábbiakat kell figyelembe venni:

- annak szerkezetét minden esetben a légierő települési idejének, a települő repülőgépek

típusának, a harchelyzetnek, évszaknak, a helyreállítási munkák végrehajtására rendelkezésre álló idő és a helyi viszonyok figyelembevételével kell meghatározni;

- ➔ száraz évszakban továbbá, ha rövid idő áll rendelkezésre, a repülőtéren nem szükséges teljesen helyreállítani a mesterséges burkolatokat, azok sérült szakaszait földdel vagy más helyi anyaggal is feltölthetőek gondosan tömörítve;
- ➔ túl nedves talaj esetén a sérült szakaszokat szét- és összerakható burkolatelemek behelyezésével vagy a talajok stabilizálásával kell megerősíteni.

Radioaktív szennyezett szakaszokon helyreállítási munkákat csak akkor lehet végezni, ha a sugárszint a megengedett értékekre csökken. [15]

A rombolt repülőterek helyreállítási munkáinak tervezése, a végrehajtás sorrendje

A helyreállítási munkálatok a repülőtér felmérési vázlatának elkészítésével kezdődnek, a földi szemrevételezés alapján kell. Ez kötelezően tartalmazza a rombolódások, rongálások pontos megnevezését (felszálló pályák, guruló és bekötő utak, gépállóhelyek, épületek, stb.), adatait. Továbbá a vázlaton rögzítik a műszaki akadályok, műszaki záruk (aknamezők, fel nem robbant lőszerke, torlaszok stb.), a felszálló mezőn levő tölcserék, árkok, csatornák, állások, lövész és közlekedő árkok, felszántott szakaszok és más meghibásodások helyét, határait, valamint nukleáris támadás esetén a szennyezés mértékét és a szennyezett terepszakaszok határait.

A helyreállítási munkák végrehajtására intézkedést kell kiadni, mely az alábbiakat tartalmazza:

- ➔ a működés szempontjából fontos, javítandó repülőtéri építmények (felszálló mező, guruló utak, gépállóhelyek, különleges épületek, utak stb.) megnevezését, a munkák mennyiségét és a helyreállítás módszerét;
- ➔ a kárfelszámolási munkák végrehajtásának ütemezését és az építmények üzemeltetésre való átadási határidejét;
- ➔ a helyi építőanyagok beszerzési lehetőségeit és javaslatokat a helyszínen található anyagok felhasználására.

A repülőtér rövid határidejű helyreállításakor a felmérési vázlat és az intézkedés lesz a végrehajtás alapokmánya, mely alapján a repülőtér építő és karbantartó alegysége elkészíti az ezzel kapcsolatos feladat tervét és az órabeosztású munkagrafikonját. Ennek során nagy mennyiségű és műszakilag bonyolult munkát kell végrehajtani, szükséges kiviteli tervet és munkaszervezési okmányt készíteni, melyek alapja a felmérési vázlat és feladat végrehajtására kiadott intézkedés.

A helyreállítási munkák végrehajtásának sorrendje

A repülőtéren folyó helyreállítási munkák sorrendjét a harchelyzettől, az évszaktól és a települő repülőgépek típusától függően kell meghatározni. Ezek figyelembe vételével, a hasonló rombolási módok esetén is, a kárfelszámolási munkák egymáshoz viszonyított végrehajtási sorrendje eltérhet. Például:

Általános elvként alkalmazható végrehajtási sorrend:

- ➔ ha szükséges, végre kell hajtani a rombolt terület robbanóanyag- és lőszermentesítését, valamint a működést akadályozó torlaszok, akadályok eltávolítását;
- ➔ a füves felszálló mező, a burkolt felszállópálya, valamint a guruló- és bekötő utak, a repülőgép állóhelyek működőképességének helyreállítása;

- a repülést biztosító és kiszolgáló berendezések működőképességének biztosítása, és a szükséges energiaellátó rendszerek javítása, de ez nem tartozik a műszaki támogatási feladatok közzé;
- a fentieket követően a felszállópálya vízvezetésének, a repülés-irányító épületeknek, a személyi állomány védelmét biztosító fedezékeknek a helyreállítása;
- ezután a kiszolgáláshoz és működéshez szükséges létesítmények, a repülőtéri utak, valamint a tábori vízellátó pontok javítását kell végrehajtani;
- végezetül a repülőtéri közművek és egyéb kiszolgáló épületek sérüléseit kell megszüntetése következik.

A hagyományos eszközökkel rombolt repülőtereken a helyreállítási munkák végrehajtási sorrendje a következő:

- a repülőtér aknamentesítése, a fel nem robbant légibombák és lövedékek hatástalanítása, eltávolítása;
- torlaszok, harcokosi akadályok, üzemképtelen technikai eszközök és más akadályok eltávolítása a felszálló mezőről és az utakról;
- a füves felszálló mezők rombolt szakaszainak javítása;
- burkolt felszállópályák, guruló utak és repülőgép állóhelyek rongált mesterséges burkolatainak helyreállítása;
- a felszállópálya alagsó rendszerének és a vízlevezető hálózatának javítása;
- a különleges épületek, repülőtéri és bekötő utak sérüléseinek kijavítása;
- egyéb kiszolgáló épületek és közművek működőképességének biztosítása [15].

Hagyományos eszközökkel rombolt repülőterek helyreállításának alapvető műszaki feladatai

Mivel a cikk terjedelme nem teszi lehetővé a repülőterek és létesítményeik valamennyi rombolási módjának és jellegének teljes mélységű ismertetését, ezért ebben a fejezetben csak a hagyományos eszközökkel rombolt fel- és leszálló pályák, valamint a guruló utak sérüléseinek helyreállításával kapcsolatos alapvető műszaki feladatokat, valamint azok végrehajtási folyamatát mutatjuk be.

Füves felszálló mezők helyreállításának műszaki feladatai

A füves felszálló mezők helyreállítása magába foglalja a felszíni egyenetlenségek és az erősen deformálódott szakaszok egyengetését, a bombatölcsérek, árkok, csatornák, állások, lövészárkok, a harci technikák áthaladása következtében keletkező keréknyomok, valamint a szétszedett tábori védelmi építmények után visszamaradt gödrök betemetését.

Ha a felszálló mező füves részén kis mennyiségű és nem hosszú barázdák vannak, akkor a gyeptéglák visszarakásával és hengerlésével célszerű a javításokat végrehajtani. Amennyiben a barázdák mélysége és kiterjedése nagyméretű, akkor a területet boronálással, bulldózerekkel és önjáró útprofilozókkal szükséges egyengetni, majd hengerekkel tömöríteni.

A csatornákat, árkokat, állásokat, lövészárkokat, közlekedőárkokat, a tábori védelmi építmények után visszamaradt gödröket rétegenként tömörített földdel fel kell tölteni. A javítást a gödrökből a víz, valamint a rézsűk, lőszerfülkék burkolatának és az építmények más szerkezeti elemeinek eltávolításával célszerű kezdeni.

A felszálló mezők legelterjedtebb rombolási módja a bombázás, melynek következtében különböző átmérőjű bombatölcsérek jönnek létre. Ezek átmérőjüktől és mélységüktől függően kis-, közepes- és nagyméretűként csoportosíthatók, melyet az alábbi táblázat mutat be.

Tölcsér típusa	Tölcsér átmérője [m]	Tölcsér mélysége [mg]	Tölcsér keletkezése
Kis	10-ig	3-ig	Hagyományos töltetek robbanásakor
Közepes	10–50	3–10	Hagyományos töltetek robbanásakor
Nagy	50 felett	10 felett	Atomtöltetek és nagy hatóerejű robbanóanyagok robbanásakor

6. táblázat A tölcserék osztályozása [15]

A száraz tölcseréket teljes mélységükben, a robbanás következtében kiszórt és a helyszínre szállított földdel, rétegenként tömörítve fel kell feltölteni. Télen a feltöltést teljes mélységükig felengetett földdel, a fagyszint feletti részt pedig aprószemcsés fagyott talajjal célszerű elvégezni.



1. ábra Motoros lapvibrátor és motoros dögölő [16]

Amennyiben a tölcserékből a talajvizet nem lehet eltávolítani, a feltöltéshez talajvízszintig durvaszemcsés anyag (homok, kavics, zúzottkő, kő stb.), a talajvízszint felett pedig föld felhasználása javasolt. Ha nem áll rendelkezésre durvaszemcsés anyag, a tölcserék teljes mélységben földdel is feltölthetők. A földet a tölcser szélétől kezdve, egy irányba, addig kell folyamatosan beszórni, amíg az így kialakított talajréteg vastagsága 0,5–0,7 m-rel meg nem haladja, a talajvízszintet. Ilyen esetekben a talaj által kiszorított víz elvezetése fontos feladat.

Minden esetben – az utólagos ülepedés megakadályozására – a tölcserbe szórt talajt rétegenként tömöríteni kell, amely történhet dögöléssel, hengerléssel vagy lapvibrátoros tömörítéssel (1. ábra). A tölcserbe szórt és tömörített föld felületének egyenletessége, egyengetés után, feleljen meg a tábori repülőtér felszálló mezőjével szemben támasztott követelményeknek.

A tölcserék feltöltésére szállított föld minősége lehetőleg azonos legyen a tölcserben levő földdel. A feltöltéssel kapcsolatos minden munkát (kitermelés, szállítást, feltöltést, egyengetés, tömörítés) a lehetőségek szerint gépesíteni kell. Nagy és közepes tölcserék feltöltésekor célszerű bulldózerekkel lejárókat készíteni, hogy a földmunka- és szállítógépek, valamint a hengerek a tölcserbe be és onnan ki tudjanak járni [15].

Szilárd burkolatú felszálló pályák és guruló utak helyreállításának műszaki feladatai

A repülőterek rövid határidejű helyreállításakor a mesterséges burkolatokat rendszerint nem állítják helyre, hanem a tölcseréket, feltöréseket földdel töltik fel. A teljes helyreállítása viszont

azt jelenti, hogy a megrongálódott burkolati elemek helyett hasonló, azonos szilárdságú és szerkezetű elemeket építenek be.

A repülőteri burkolatok helyreállítása a következő műszaki munkákat foglalja magába:

- a burkolat rombolt, megrongált és erősen deformálódott részeinek eltávolítását;
- a tölcsérek betemetését;
- a sérült szerkezeti elemek javítását;
- a megrongálódott szakaszok helyreállítását.

A rombolt, megrongált és erősen deformálódott *merev burkolatrészeket* bulldózerekkel, vontatókkal emelhetők ki, majd darukkal rakhatók szállítóeszközökre. A nem merev, felpúposodott szakaszok talajlazítókkal és légkalapácsokkal törhetőek fel, a vasalások autogén berendezéssel vághatók szét. A *szét- és összerakható acéllemez* burkolatok megsérült és deformálódott elemeinek eltávolítása során javasolt azokat előzetesen autogénnel szétvágni, ezt követően a lemezdarabokat gépkocsikkal és vontatókkal eltávolítani.

Az összeszerelhető beton- és vasbeton burkolatok felemelkedett elemei vibrátorral süllyeszthetők vissza eredeti helyükre. Harci körülmények között a szét- és összeszerelhető elemekből készült felszálló mező burkolatok a helyreállítandó szakaszokon szerkezetileg azonos, ép elemek lerakásával javíthatók ki. Erre elsősorban a burkolat azon nem rombolt szakaszairól felszedett elemeinek felhasználása javasolt, amelyek nélkül a repülőtér működőképessége és a légijárművek üzemeltetése még biztosított.

Az állandó repülőterek ideiglenes helyreállítását a burkolat újonnan létesítendő szakaszain (a sérült szakaszok helyett) fémlemezekből, optimális talajkavics és talajzúzalék keverékekből, továbbá különböző kötőanyagokkal stabilizált talajokból lehet végrehajtani úgy, hogy az új burkolat feleljen meg a használt repülőgép típusok üzemeltetésére előírt követelményeknek.

A rombolás hatására a burkolatokban keletkezett tölcséreken kívül az alábbi meghibásodások keletkezhetnek:

- a lemezek egymáshoz viszonyított szintbeli eltolódása;
- repedések a betontáblákban és sarkainak letöredezése;
- a kiöntő anyag (bitumen) kiolvadása a fugákból.

A betontábláknál a lesüllyedés miatt kialakult lépcsőt 5 cm-ig bitumenhomok keverékkel javítható, de az egyenletes átmenet biztosítása érdekében 5 cm felett a betonlapokat ki kell emelni. Az alap kijavítása után azokat a korábbi helyükre vissza lehet helyezni vagy szükség esetén újakkal pótolni (2.ábra). A felemelkedett elemek vibrálással süllyeszthetők vissza az eredeti helyükre.



2. ábra Előre gyártott pályaelem beemelése [17]

A beton- és vasbeton burkolatokban keletkezett repedések szélességtől függően 2 mm-ig benzines bitumenoldattal háromszoros festéssel, 2–6 mm között bitumen kiöntéssel, 6 mm felett táguló cementhabarcs vagy bitumen kiöntéssel javíthatóak. A betonlapok letöredezett sarkait talajkavicssal, talajzúzalékkal való feltöltéssel vagy betonnal lehet kijavítani. A letöredezések kitöltése előtt a beton szélét légkalapáccsal függőlegesre kell levésni, a fugákból kiolvadt kiöntőanyagot pedig új kiöntéssel szükséges pótolni.

A burkolaton keletkezett egyéb repedések, apró letöredezések és más sérülések bitumennel javíthatók. A burkolat további sérülésének megakadályozására kötőanyagok alkalmazásával felülkezelést vagy felületzárást kell végrehajtani.

Lövések vagy más okok következtében megsérült lemezeket a szét- és összeszerelhető acéllemez burkolatoknál célszerű eltávolítani és újakkal pótolni. Kis sérülések (megülések) esetén javasolt a perforált (lyukacsos) lemezekből készült burkolatot a meghibásodott helyen felemelni és az alapját szemcsés anyaggal kitölteni.

A burkolatok használható szakaszairól a víz evezetése a felszálló pálya elárasztásának megelőzése érdekében a meglévő vagy újonnan létesített vízelvezető rendszerrel biztosítható. [15]

A felszálló pályákon és a guruló utakon található tölcserék helyreállításának műszaki feladatai és munkafázisai

A rombolt burkolatszakaszokon levő tölcseréket ugyanúgy kell feltölteni, mint a füves felszálló mezőn, csak a burkolat alsó széléig vagy a tervezett burkolatvastagságig. A tölcserék betemeléséhez felhasználható az eltávolított beton, vasbeton és aszfaltbeton burkolatrészek. Üregek keletkezése és a talaj megsüllyedése elkerülhető a beton- és vasbeton burkolatok nagyméretű darabjait robbantással vagy légkalapácsokkal kell összetörni.

- A tölcserék helyreállításának feladatai és munkafázisai a következők:
- a szélekre kidobott törmelék visszatöltése, illetve a vissza nem tölthető törmelék elszállítása, a tölcserén kívül sérült betonfelület meghatározása, megtisztítása;
- a sérült betonfelület szabaddá válása után annak kijelölése, a helyreállításhoz szükséges elemek, anyagok mennyiségének kiszámítása;
- a sérült betonfelület bontófejes kotróval történő feltörése;
- a beton kivágása, a kivágott és fölösleges beton összetörése, elszállítása;
- a feltöltés anyagának (előre készletezett homokos kavics) beszállítása az előzetes számítások alapján meghatározott mennyiségben;
- a feltöltés végrehajtása, folyamatos tömörítése lapvibrátorral és úthengerrel;
- a tölcser szélére kidobott törmelék és föld visszatöltése, folyamatos tömörítése lapvibrátorral amíg a feltöltés mélysége, kiterjedése lehetővé nem teszi az úthengeres tömörítést. Ez történhet hagyományos úthengerrel, vibrációs gumikerekes vagy vegyes típusú (elől gumikerek, hátul fémhenger) munkagépekkel;
- betonelemek helyszínre szállítása (ami történhet a töltésanyag szállítással egy időben), beemelése;
- a beemelése csak akkor kezdődhet, amikor a feltöltés és a tömörítés a meghatározott szintig befejeződött;
- a beemelést követően gumikerekes úthengerrel végre kell hajtani az esetleges felületi egyenetlenségek megszüntetését a jobb illeszkedés elősegítésére;

- a betonfelület tisztítása, a sávok megjelölése;
- a helyreállítás befejezése után a munkaterület teljes megtisztítása, a hézagok kiöntése, a szükséges jelek felfestése.
- A guruló utak helyreállításának feladatai és munkafázisai a következők:
- a tölcser szélén lévő törmelék visszatolása, tömörítése;
- töredezett betonfelület eltávolítása, elhordása;
- a tölcser feltöltése folyamatos tömörítés mellett a burkolat szintjéig;
- előre gyártott műanyag táblák elhelyezése a teljes felületre.

A helyreállításnak ez a folyamata lényegesen gyorsabb, mint a teljes helyreállítás, és ezzel is biztosítható a repülőgépek fel és leszállása, vontatása és gurulása. [1]

Árasztással rombolt repülőterek helyreállításának alapvető műszaki feladatai

Harci körülmények között az esetek többségében az elárasztott felszálló mezőt csak ideiglenesen célszerű helyreállítani. Ilyenkor prioritás az áradás okának meghatározása és megszüntetése, valamint a következmények felszámolása, ami az alábbi munkákat foglalja magába:

- az objektum helyreállítása vagy a torlaszok, rombolások megszüntetése, amelyek a felszálló mező elárasztását idézték elő;
- az elárasztott területek kiszárítása;
- a víznyelő és vízvezető hálózatok beiszaposodott és eldugult elemeinek kitisztítása;
- a hordalékanyag eltávolítása a felszállópályára, a guruló utak burkolatáról és a kényszerleszálló mezőről;
- a felszálló mező elmosott részeinek helyreállítása.

A víz levezetése és a talaj kiszáradása után a hordalékanyag eltávolítását, valamint a felület helyreállítását az elmosott területeken javasolt lédús földnyesőkkel, bulldózerekkel és önjáró útprofilozókkal végrehajtani. A hordalék eltávolítása után a burkolatokon visszamaradt földet öntöző-seprő gépkocsikkal távolítható el [15].

ÖSSZEGZETT MEGÁLLAPÍTÁSOK

A légierő harctevékenységének sikerét alapvetően befolyásolja az, hogy a repülőtér karbantartó és javító műszaki egységek (alegységek) képesek-e futópályák, a guruló utak folyamatos karbantartását, valamint ellenséges támadás után, a szükséges helyreállítási feladatokat szakszerűen és időben végrehajtani. Számtalan helyi háború bizonyítja, hogy a repülőterek elleni légicsapások és más diverziós támadások célja az olyan mértékű rombolása, amelyek helyreállítása hosszú időt vesz igénybe, vagy az egyáltalán ne legyen lehetséges. Mivel ezek az objektumok nagy kiterjedésük miatt igen sebezhetőek, teljes körű védelmük nehezen megoldható, ezért e a problémával napjainkban is számolni kell, különösen a terrortámadások veszélyének növekedése miatt.

Ebben a cikkben azt törekedtünk bemutatni, – a teljesség igénye nélkül – hogy milyen bonyolult műszaki támogatási feladatokat kell végrehajtani ahhoz, hogy egy repülőtér működő- és fogadóképessége fenntartható, rövid időn belül visszaállítható legyen egy támadás utáni rombolást követően is. Ehhez, - az anyagi technikai feltételek biztosítása mellett – alapvető fontosságú a

személyi állomány felkészítése e feladatok végrehajtására. Ezért fontosnak tartjuk, hogy a jövőben a katonai és a polgári „repülőképzésen” belül e terület nagyobb figyelmet kapjon. Különösen igaz ez a katonai műszaki képzésre és oktatásra, mert csak az itt végzett hallgatók megfelelő felkészítése lehet garancia arra, hogy a katonai repülőterek üzemeltetésének, helyreállításának és javításának műszaki feladatai a NATO követelményeknek és elvárásoknak megfelelően, szakszerűen lesznek megszervezve és végrehajtva.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Hegyemi Zoltán – Szalai Kálmán: A repülőezred műszaki biztosításának, a repülőter karbantartásának és javításának feladatai, a végrehajtás megszervezése különböző időszakokban. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2003.
- [2] ZMNE BJKMKFk Építőmérnöki szak kreditrendszerű oktatásának tanterve – 2001.
- [3] ZMNE BJKMK Had- és biztonságtechnikai mérnöki alapszak tanterve, 3. kötet, Műszaki, katasztrófavédelmi és közlekedési szakirány – 2005.
- [4] NKE HHK Tanóra-, kredit- és vizsgaterv a katonai vezetői alapképzési szak, Műszaki specializáció részére – 2013.
- [5] Lukács László: A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Katonai Műszaki Kar, Katonai műszaki tanszéke. Műszaki Katonai Közlöny, Budapest, 2006/2. szám, 3–12. o.
- [6] Vezérfonal az utászszolgálat oktatásához – fordítás. Pallas Irodalmi és Nyomdai Rt., Budapest, 1899.
- [7] E-23. Műszaki oktatás a m. kir. honvéd lovasság utász-szakaszai és század-utászai számára. Pallas Irodalmi és Nyomdai Részvénytársaság, Budapest, 1902.
- [8] Schaffer Antal: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve. Pallas Rt., Budapest, 1903.
- [9] E-34 (Műsz. okt. műsz.): Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára, 2. Füzet - Robbantások I. rész. M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1928.
- [10] E-34 (Műsz. okt. műsz.): Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára, 2. Füzet - Robbantások II. rész + Mellékletek. M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1928-1929.
- [11] Robbantási segédlet. Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1950.
- [12] E-mű.1. Ideiglenes robbantási utasítás. Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1950.
- [13] Mű/2. Robbantási utasítás. Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1965.
- [14] Mű/213. Robbantási utasítás. Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1971.
- [15] Mű/219. Utasítás a tábori repülőterek létesítésére és a rombolt repülőterek helyreállítására. Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1971.
- [16] Budai István mk. ezredes: A műszaki technikai eszközök állapota, fejlesztési elképzelések. Előadás 2005. 06. 27. FÁM Műszaki szekció, Szentés
- [17] Pál József mk. alezredes: A műszaki technikai eszközök és harcanyagok fejlesztése 2013-ig. Előadás „Haditechnika 2004” III. Nemzetközi Haditechnikai Szimpózium, 2004. április 19-20. Budapest
- [18] Lukács László: Szemelvények a földrobbantás elméletének és gyakorlatának fejlődéséből. Műszaki Katonai Közlöny, Budapest, XXVII. évf. 2017/1. szám, 25–46. o.
- [19] Lukács László: Téglá, kő, beton és vasbeton szerkezeti elemek robbantási szabályainak fejlődése a honi katonai robbantástechnikában. Műszaki Katonai Közlöny, Budapest, XXII. évf. 2012/1. szám, 55–84. o.
- [20] Explosive Weapon Effects – Final report, Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHD). Genf, Svájc, 2017. (ISBN 978-2-940369-61-4)
- [21] Szabó Sándor – Tóth Rudolf: Repülőterek kialakítása, létesítményeinek kritikus elemei, védelmük lehetséges műszaki megoldásai. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, XXV évfolyam 2003/2., 89–113. o.
- [22] Dr. Szabó Sándor– Dr. Tóth Rudolf: A repülőteri létesítmények robbantásos cselekmények elleni védelmének növelési lehetőségei. Repüléstudományi közlemények, Szolnok, XXV évfolyam 2002/2., 190–215. o.
- [23] Balogh Zsuzsanna: Repülőteri épületek védelme terrorista-robbantások ellen. Repüléstudományi Közlemények Különszám 2009. url:http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2009_cikkek/Balogh_Zsuzsanna.pdf

FUNDAMENTAL ENGINEER TASKS OF DEMOLISHED AIRFIELDS' REPAIRS

According to safety experts the chance for warlike conflicts among coalitions is continually decreasing because of cold war cessation. Despite of this, we cannot preclude an armed conflict when an airfield attacked as a military target and demolished insomuch that not able to function normally, so it requires partial or complete repairs. In the past years experts concentrated their research work on terrorist attacks and pointed out that in case of an attack the complete demolition of the airfield is not feasible. In the past years only a few publication were issued about engineer tasks of demolished airfield repair, therefor in this article we present the manner to demolish airfields during an armed conflict as well as the essential requirements and engineer tasks of airfields' repairs.

Keywords: *airfield, demolition, blasting, functional disorder, landing and airstrips, repairs, engineer*

Lukács László (CSc)
egyetemi tanár
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Műszaki Doktori Iskola
llukacsv@gmail.com
orcid.org/0000-0001-8569-5013

László Lukács (PhD)
Professor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Doctoral School of Military Engineering
llukacsv@gmail.com
orcid.org/0000-0001-8569-5013

Tóth Rudolf (PhD)
egyetemi docens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Műszaki Doktori Iskola
toth.rudolf@chello.hu
orcid.org/0000-0002-6013-7899

Rudolf Tóth (PhD)
Associate professor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Doctoral School of Military Engineering
toth.rudolf@chello.hu
orcid.org/0000-0002-6013-7899

Kovács Zoltán (PhD)
egyetemi docens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
kovacs.zoltan@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0001-9098-1997

Zoltán Kovács (PhD)
Associate professor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
kovacs.zoltan@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0001-9098-1997



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-17-0438_Lukacs_L-Kovacs_Z-Toth_R.pdf

Kling Fanni, Papp Gábor, Rohács Dániel

INTEGRATING HUMAN FACTORS IN REAL-TIME SIMULATIONS

Real-Time Simulation (RTS) is a technique used in Air Traffic Management (ATM) to validate new operational procedures, airspace organisation or support tools. Although the aim is to involve Air Traffic Control Officers (ATCOs) in the simulation, many RTS projects still lack the human factors perspective. This paper presents the benefits of using RTS where the Human Factors are taken into account. First, basic concepts in human cognition are introduced that needs to be covered during a validation. Second, the validation steps are outlined with special attention to their own challenges. Finally, projects that are of key importance in SESAR 2020 (Single European Sky ATM Research 2020) and in Human factors will be elaborated.

Keywords: Real-Time Simulation, Human factors, Air Traffic Control, Validation, Experimental Psychology

INTRODUCTION

Successful development of a system, procedure or new airspace organisation depends on having the right methods to ensure that the development meets the given maturity level. The European Operational Concept Validation Methodology is a framework to provide structure and transparency in the validation of ATM operational concepts [1]. E-OCVM meets the criteria outlined above as it considers validation an iterative approach where the selection of validation techniques is based on the concept's maturity. If the scope has been set and the operational concept defined (referred to as V1 stage) significant effort can be placed on experimentation.

The next phase is applied to test the feasibility of the development. At this maturity level (referred to as V2) Fast-Time and Real-Time Simulation are regarded as appropriate research techniques. Fast-Time Simulation (FTS) provides a cost effective way to examine the impact of new aspects on operations and help stakeholders to make informed decisions. The simulation is executed at accelerated speed, which provides opportunity to test various scenarios. In contrast, Real-Time Simulation (RTS) is used to validate new operational concepts with the contribution of air traffic controllers who are proficient in the measured airspace. In order to ensure realistic and high-fidelity environment the human-machine interface can be reproduced to match to the ATCO's own system. Importantly, it is useful to differentiate between small-scale and large-scale simulations. At V2, it is highly feasible that a small-scale simulation is enough to test the concept and apply large-scale RTS only prior implementation, during which mature and well thought-through concepts will be presented to the ATCOs.

The design and execution of a Real-Time Simulation requires experts from a variety of fields. Human Factors experts are involved quite frequently, however, there are still human-in-the-loop simulations where the human factors assessment is either partly present or completely neglected. This paper aims to clarify the role of human factors in ATM projects, more specifically in RTS. Some examples of the human factors methodology are introduced that is currently used at HungaroControl (Hungarian Air Navigation Services).

HUMAN FACTORS

Human factors is a broad term referring to all the aspects that influence a human's capability to accomplish tasks and meet job requirements. Consequently, the experts addressing human factors may represent various fields such as ergonomics, recruitment, safety, experimental psychology or neuroscience.

However, RTS requires a more specialized human factors assessment methodology. The key focus here is very similar, i.e. to evaluate how the new development will impact the operator by investigating each relevant human factors aspect. However, there are certain parts of the validation process in terms of experimental design and metrics selection; data analysis and presentation that need considerable experience in cognitive science or experimental psychology. The important aspects that a human factors expert has to take into account during a RTS are elaborated in the next section, with special attention to human factors constructs and experimental design.

Human Cognition

One of the main goals of Human Factor studies is to ensure good interactions between human capabilities and work environment [2]. Human capabilities are however a broad term that requires further clarification. It encompasses several cognitive function such perception, attention, hearing, decision-making, memory, stress, emotion, executive functions etc. However, human factors and cognitive engineering require viable constructs to gain better understanding and provide prediction on human performance in complex systems [12].

Therefore, in most of the ATM studies the three common human cognition and performance constructs referred to are workload, situational awareness and trust in automation. It has been demonstrated that workload is significantly impacted by ATC (Air Traffic Control) Complexity factors, such as aircraft count, horizontal proximity or sensitivity of conflict [7]. High workload in turn can lead to deficient decision making and errors [3] [14]. In spite of the disagreement about its nature and definition "workload remains an important and measurable entity" [4]. Several methods exist to evaluate and predict workload such as i) performance-based measurements, ii) subjective measurements, iii) physiological measurements [5] [6]. Performance-based measurements are used on the presumption that the high workload will be visible in higher frequency occupation time [7], slower reaction times, errors. Physiological evaluations are based on the recording of operator's neurophysiological signals measured with EEG, fNIRS, GSR, eye-tracking [8]. Subjective measurements are based on the assumption that the operator is able to report on the experienced workload [5]. Each approach has its advantages and disadvantages. Due to the relatively new technology, neurophysiology-based metrics have not yet been implemented at many simulators. The remaining two are however broadly used in aviation psychology.

With regards to the subjective measurement, many argue that workload is not a clear concept [2], and means different concepts to individuals. Some may define it as the time pressure under which the task is performed, others as the level of effort needed to execute the task, success in performance, the mental demand and physical movements it requires or the combination of these elements [4]. In contrast to the multidimensional property, the spare capacity or the lack thereof can be an additional consideration. Was the operator able to perform the task? Was there a possibility to execute additional tasks at the same time? If this is the main evaluation criteria,

then multidimensional rating scales may be unnecessary, and a more concrete, decision-tree based approach can be applied which minimizes the workload reporting differences across participants [9] [24]. The questionnaires that are most widely used in aviation-related simulations are presented in Figure 1.

NASA Task Load Index

Hart and Staveland's NASA Task Load Index (TLX) method assesses work load on five 7 point scales. Increments of high, medium and low estimates for each point result in 21 gradations on the scales.

Name	Task	Date
------	------	------

Mental Demand How mentally demanding was the task?

Very Low Very High

Physical Demand How physically demanding was the task?

Very Low Very High

Temporal Demand How hurried or rushed was the pace of the task?

Very Low Very High

Performance How successful were you in accomplishing what you were asked to do?

Perfect Failure

Effort How hard did you have to work to accomplish your level of performance?

Very Low Very High

Frustration How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed were you?

Very Low Very High

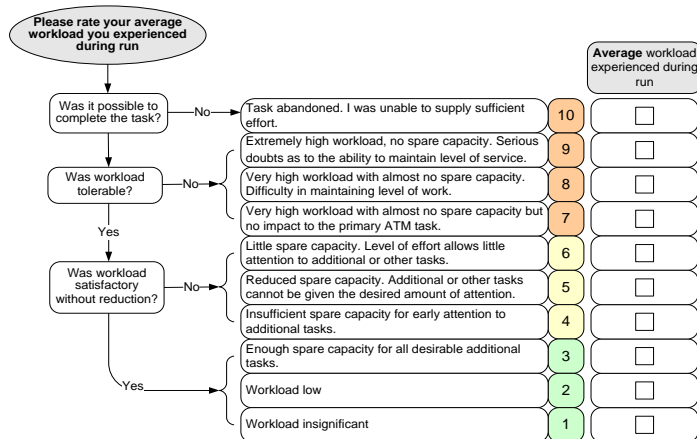


Figure 1. Two of the most broadly used questionnaires for workload estimation in aviation-related simulations (NASA-TLX on the left and the Bedford Workload Scale on the right)

NASA-TLX (see in Figure 1) entails six dimensions that are considered important for the total workload [4]. The Bedford Workload Scale (see in Figure 1) is a uni-dimensional rating scale designed to identify operator's spare mental capacity while completing a task. The single dimension is assessed using a hierarchical decision tree that guides the operator through a ten-point rating scale, each point of which is accompanied by a descriptor of the associated level of workload. It has been originally developed for the assessment of pilots [24]. At HungaroControl, both are used depending on the tested concept, however, they have been digitalized and modified in order to ensure that each participant understands the difference between the statements in Bedford at face value. The associated colours and numbers have been eliminated to avoid that participants only mark the statements according to the number, and do not take into account the statement.

Beside workload, situation awareness (SA) is also an essential aspect of human factors. In brief, SA refers to the ATCO's mental picture of the constantly changing traffic situation. Defined by [10], SA is constituted by three elements: i) perception of the elements in the environment within a volume of time and space, ii) the comprehension of their meaning, iii) projection of their status in the near future. Consequently, in the ATM domain SA involves the continuous awareness of the location of each aircraft with its own parameters and their predicted future location relative to each other. Several aspects can contribute to the degradation of SA, such as

stress, fatigue, memory failure, unavailability of data [10] [11]. The SASHA-Q (Situation Awareness for SHAPE Questionnaire) developed by [25] is frequently used at HungaroControl. The degradation of situation awareness is addressed by several operational situations that may have happened in the last run, like being surprised by something, chance of forgetting something important or starting to focus on a single problem or specific area. However, the planning, prioritization of tasks are also part of the questionnaire.

The importance of measuring trust in automation is continuously increasing as many new concepts in ATM utilize automated system support [20]. Research conducted by [13] showed that the operator's trust in the automation directly influenced his use of the system in a simulated task. Low levels of trust may lead to disuse [12]. In turn, high level of trust can lead to overreliance and failure to monitor the situation (referred to as a complacency issue).

These constructs are often tested through empirical studies such as simulations. The next section will present how the knowledge about human factors and data science can be integrated in the design of a real-time simulation and then in the evaluation of the data.

Real-Time Simulation

Real-Time simulation is an essential technique to test new and mature concepts and assess their impact on human operators. Real-Time simulation provides a relatively controlled and repeatable environment [1] that is fundamental for validation. Some may argue that the disadvantages of RTS are the learning-effect and its expense in contrast to what it offers. Although it has to be accepted that RTS is not an experiment and a balanced experimental design is difficult to achieve [15], the integration of human factors may account for these claims and help to create a valuable simulation.

The development of a successful Real-Time Simulation certainly requires excellent teamwork. Adequate project and time management; correct hence realistic simulation environment; reliable simulator platform and voice-communication system are all inherent part of the simulation. If any of the listed elements are deficient or neglected, the simulation may not reach its intended goal and result, let alone customer and ATCO satisfaction. Human factors experience brings an additional value to the simulation as well. First, a human factors expert has to ensure a good interaction between operator and the simulator environment. Second, accurate experimental design will ensure that the impact of the tested development is measurable hence demonstrable.

Preparation

The first phase where human factors or experimental psychology comes into play is the definition of simulation hypotheses. Due to its characteristics (i.e. relatively controlled and repeatable) RTS is designed to compare various alternatives of the new concept [15] and/or based on the counterfactual theory of causation, compare the impact of new and current system on operators with each other [17]. It is of great importance to agree on hypotheses that are testable with metrics and provide meaning for the management.

By defining the hypotheses the human factors experts and the customer have to have a preliminary plan on the number of variables and scenarios that will be tested. Variables may be

sector configuration, traffic samples, procedures etc. Each variable can have more levels: two types of sectorization (e.g. current and new), two types of traffic sample (e.g. low and high traffic level), two types of procedure (with automation tool or without). It is essential for the experimental design to understand that if a variable has more levels (even two, let alone three) it can inevitably lead to learning effect. The reason is the following. Real-Time Simulation often uses within subject experimental design. It means that each participant is exposed to all conditions of the experiment and therefore serves as his/her own control. The provided benefit is considerable because the influence of the manipulated variable is separable and results in high statistical power. To put it briefly, it can be evaluated how individual behavior changes when the circumstances of the simulation change [16].

However, if the operator is exposed to the same environment and only slight modification occurs (seeing the same traffic sample but with three different procedures), the learning effect will influence his/her performance. Consequently, close attention must be paid on the number of levels a variable may have. The main issue in large scale RTS compared to lab experiment is that there is less chance to randomize the conditions. In lab experiments one participant will start with the first condition, while another participant starts with the second, etc. In large scale RTS, all ATCOs are participating at the same time, thus randomization is not viable. A plausible solution for randomization would be to have one more traffic sample with similar occupancy. However, adding more variables will influence the length of the simulation, which is again a critical factor in RTS from resource and cost perspective. Therefore, it is recommended to select the most intriguing variables that have only two levels and have at least two traffic samples minimizing the learning effect.



Figure 2. Real-Time Simulator platform at HungaroControl. The platform encompasses 34 controller and 27 pilot working positions with advanced ATM tools and applications, System Coordination and Data-Link environment.

Rostering is also a key factor that ensures the mitigation of the learning effect and the gathering of data. Rostering refers to the seating principle where the ATCOs will be rotated to different controller working positions (sector's position in sectorized environment), hence can provide feedback on various positions. In order to reach statistical significance and avoid biased results due to individual differences, some scenario repetitions with different rostering are considered

necessary (three or four at least). Too many repetitions are however superfluous, as it may happen that controllers are rostered to the same controller working position twice in the same scenario.

Still in the preparation phase, the human factors expert selects and/or develops metrics that will provide evidence to confirm or reject the hypotheses. The metrics are mostly performance-related and questionnaire-based for subjective evaluation. The key concepts to be addressed are workload and situation awareness. There are certain questionnaires that are widely accepted (e.g. NASA-TLX, Bedford Workload Scale, SASHA-Q), but every simulated concept requires a more specialized questionnaire to investigate the impact. The addressed fields are automation, adequacy of operating methods, hotspots, teamwork, etc. (for a thorough assessment of these fields see [23]). The joint development of such questionnaire with subject matter experts is strongly recommended.

At last, human factors experts have to ensure that the participating ATCOs received the necessary training for the simulation. Not only the proper human-machine interaction has to be ensured, but that the ATCOs understand the goal of the simulation and the concepts to be tested in the RTS. This acceptance test usually happens a few weeks prior the RTS.

Execution and Analysis

During the RTS the human factors expert ensures that the simulation runs according to the Validation plan. In order to obtain reliable data the experimental design and variables to be tested should not be modified during the execution. However, it has to be realized that if a concept does not seem viable from the beginning, balanced experimental design might have to be abandoned for the sake of the success [15]. In addition, as Wise and colleagues [15] point out, ATCOs are not merely experimental subjects but subject matter experts whose opinion counts a great deal during the simulation.

Observing the RTS provides vital input for the debriefing sessions and the report. The performance indicators may serve as the basis of the debriefing sessions and can support the facilitation of the discussions.

Once the simulation has been completed and all relevant data (objective, subjective) have been collected, the human factors analyst will first verify the quality of the data, then analyze it with the aid of statistical tools. After the statistical calculation the human factors expert has to interpret the results, connect results from different sources to obtain a holistic picture. Coordination with other project members is essential at this phase. For instance, discussions with the OPS (operational) team may shed some lights on the concerns not known for the human factors expert.

At last, the human factors expert can provide conclusions and recommendations for the management based on the outcome of the simulation.

Relevant projects

Human Factors Assessment is also an integral part of the project in Single European Sky ATM Research (SESAR 2020), which is the technological pillar of the European Union's Single European Sky (SES) initiative [18]. SESAR 2020's Industrial Research and Validation Programme focuses on four key features (High Performing Airport Operations, Optimised ATM Network Services, Advanced Air Traffic Services, Enabling Aviation Infrastructure). Several

projects have been dedicated to assess these areas. In this section two of those will be highlighted, namely High Performing Airport Operations - Remote Tower for Multiple Airports and Advanced Air Traffic Services – Separation Management En-Route and TMA (terminal manoeuvring area) [22] because these innovative technologies have special importance from human factors perspective.

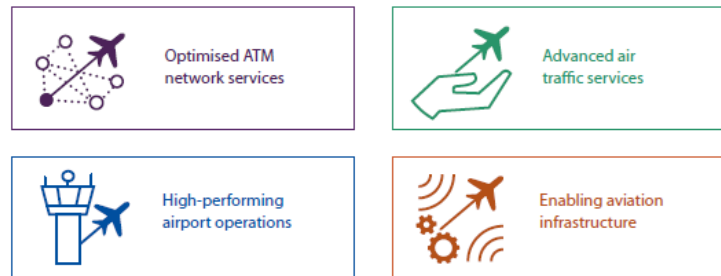


Figure 3. The four areas in ATM (Key Features) defined in the European ATM Master Plan

Therefore, the above mentioned projects use Human Performance Assessment methodology to address the human factors related aspects (human performance bears a very similar meaning to human factors in this case) that may be impacted by the new concepts. Importantly, the feasibility of both solutions can be addressed with Real-Time Simulation.

Multiple Remote Tower operation is a considerably new concept that envisages one operator providing ATS services to more than one aerodrome in parallel. This topic is of key importance for human factors experts for several reasons. First, the number of tasks an ATCO will have to perform and the working methods will change. The Human-Machine Interface (HMI) will be configured in a way that two or more aerodromes can be monitored. Hence the number of information displayed will increase. Human factors experts have to address how this change will impact workload and situation awareness, taking into consideration the different procedures and characteristics of the aerodromes (geographical area, weather conditions etc.) and the usability of the human-machine interface.

Flight Centric ATC (FCA) is one of the key solutions within Advanced Air Traffic Services – Separation Management En-Route and TMA. The aim of the concept also known as Sectorless ATM is to dissolve sector boundaries and to have one controller in charge for a single flight to guide it through a large airspace [19]. As a basic principle of Flight Centric ATC, a controller is no longer in charge of managing the entire traffic within a given sector. Instead, he/she is now responsible for a certain number of aircraft which he/she controls from the entry into the given airspace to the exit, whereas other controllers are responsible for a certain number of different aircraft within the same airspace [20]. ATC has still the responsibility for separation provision and the controller has to ensure a conflict-free flight. According to the plan, advanced automation will support the executive controller in conflict detection and resolution and could perform the traffic assignment based on specified strategies. Therefore, significant changes to controllers' tasks and teamwork are expected [21]. For instance, the executive controller will be able to take on more tasks such as monitoring and within-FCA coordination, while the planner controller's role will be rather coordination with adjacent sectors. However, the radical change will influence several fields such as communication and HMI, which in turn may have important implications on human performance. For instance, considering the possibility to

allocate different frequencies to the executives [20], not only ATCO's but also pilot's situation awareness may be impacted by not perceiving everything that happens around them. The adequate presentation of concerned flights is also a factor that requires a thorough assessment as it can directly impact ATCO's situation awareness and workload. Most importantly however, the reliability of the advanced automation tools has to be ensured, since without trust in their functionality the whole concept is put at risk.

At their current maturity levels both concepts can be assessed with Real-Time Simulations. As described in the first section, Real-Time Simulation provides valuable insight into the magnitude and quality of the change, be a small or large scale validation. Useful experiences can be gained with the contribution of experts from various fields (ATC, Technical, OPS, Safety, Human Factors and Project Management).

CONCLUSION

In this article the importance of human factors assessment in Real-Time Simulations has been emphasized. First, key concepts in the field of human factors and cognitive engineering have been introduced, with special attention to workload, situation awareness and trust in automation. These constructs are the main interest in Real-Time Simulations, but human factors knowledge also ensures the application of the right experimental design for the tested concept in order to achieve reliable results.

In case of SESAR 2020 where innovative R&D solutions are tested, human factors expertise will help to identify the proposed concept's benefits and issues and support the formalization of mitigation strategies. These aspects can be addressed with Real-Time Simulation to demonstrate the concept and gather considerable feedback from the participants and subject matter experts. This way, ATM experts and decision makers will be able to foresee potential changes in human performance and to prevent safety issues related to workload and situation awareness.

REFERENCES

- [1] EUROCONTROL. European Operational Concept Validation Methodology E-OCVM, 3rd Edition, February 2010
- [2] WICKENS, Christopher D., et al. Engineering psychology & human performance. Psychology Press, 2015.
- [3] REASON, James. "Human error: models and management." *BMJ: British Medical Journal* 320.7237 (2000): 768.
- [4] HART, Sandra G., and Lowell E. Staveland. "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research." *Advances in psychology* 52 (1988): 139-183
- [5] RUBIO, Susana, et al. "Evaluation of subjective mental workload: A comparison of SWAT, NASA-TLX, and workload profile methods." *Applied Psychology* 53.1 (2004): 61-86.
- [6] MESHKATI, Najmedin, et al. "Techniques in mental workload assessment." In J. Wilson & E. Corlett (Eds.), *Evaluation of human work. A practical ergonomics methodology* (pp. 605–627). London: Taylor & Francis (1995).
- [7] DJOKIC, Jelena, Bernd LORENZ, and Hartmut FRICKE. "ATC Complexity as workload and safety driver." *convergence* 7.11 (2008): 12.
- [8] ARICÒ, Pietro, et al. "Adaptive automation triggered by EEG-based mental workload index: a passive brain-computer interface application in realistic air traffic control environment." *Frontiers in human neuroscience* 10 (2016).
- [9] ELLIS, Kyle Kent Edward. Eye tracking metrics for workload estimation in flight deck operations. The University of Iowa, 2009.
- [10] ENDSLEY, Mica R., and Mark D. RODGERS. Distribution of attention, situation awareness, and workload in a passive air traffic control task: Implications for operational errors and automation. No. DOT/FAA/AM-97/13. Federal aviation administration Washington DC office of aviation medicine, 1997.
- [11] SNEDDON, Anne, Kathryn MEARNS, and Rhona FLIN. "Stress, fatigue, situation awareness and safety in offshore drilling crews." *Safety Science* 56 (2013): 80-88.
- [12] PARASURAMAN, Raja, Thomas B. SHERIDAN, and Christopher D. WICKENS. "Situation awareness, mental workload, and trust in automation: Viable, empirically supported cognitive engineering constructs." *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making* 2.2 (2008): 140-160.
- [13] LEE, John, and Neville MORAY. "Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems." *Ergonomics* 35.10 (1992): 1243-1270.
- [14] KEINAN, Giora. "Decision making under stress: Scanning of alternatives under controllable and uncontrollable threats." *Journal of personality and social psychology* 52.3 (1987): 639.
- [15] WISE, John A., V. David HOPKIN, and Paul STAGER, eds. *Verification and validation of complex systems: Human factors issues*. Vol. 110. Springer Science & Business Media, 2013.
- [16] CHARNESS, Gary, Uri GNEEZY, and Michael A. KUHN. "Experimental methods: Between-subject and within-subject design." *Journal of Economic Behavior & Organization* 81.1 (2012): 1-8.
- [17] BYIERS, Breanne J., Joe REICHLE, and Frank J. SYMONS. "Single-subject experimental design for evidence-based practice." *American Journal of Speech-Language Pathology* 21.4 (2012): 397-414.
- [18] SESAR Joint Undertaking. "SESAR 2020: developing the next generation of European Air Traffic Management", (2014) downloaded from: http://ec.europa.eu/research/press/jti/factsheet_sesar-web.pdf
- [19] BIRKMEIER, Bettina, Bernd KORN, and Dirk KÜGLER. "Sectorless ATM and advanced SESAR concepts: Complement not contradiction." *Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2010 IEEE/AIAA 29th*. IEEE, 2010.
- [20] BIRKMEIER, Bettina. Feasibility analysis of sectorless and partially automated air traffic management. Diss. Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 2015.
- [21] BIRKMEIER, Bettina, et al. "Change of controller tasks in a sectorless ATM concept-first results." *Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS), 2012*. IEEE, 2012.
- [22] SESAR Joint Undertaking. "SESAR 2020 Multi-annual Work Programme", (2015) downloaded from http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/jtis/h2020-wp-multi-annual-sesar-ju_en.pdf
- [23] EUROCONTROL. "HF Case Workarea descriptors". (2008) downloaded from <http://www.eurocontrol.int/articles/human-factors-case>
- [24] ROSCOE, Alan H., and Georges A. ELLIS. A subjective rating scale for assessing pilot workload in flight: A decade of practical use. No. Rae-tr-90019. Royal aerospace establishment Farnborough (United Kingdom), 1990.
- [25] DEHN, Doris M. "Assessing the impact of automation on the air traffic controller: the SHAPE questionnaires." *Air traffic control quarterly* 16.4 (2008): 127.

AZ EMBERI TÉNYEZŐK ELEMZÉSÉNEK INTEGRÁLÁSA VALÓS IDEJŰ SZIMULÁCIÓKBA

A valós idejű szimuláció célja új eljárások, komplex légtérstuktúrák vagy irányítói támogatóeszközök validálása az ATM iparágban. Bár a légiforgalmi irányítók bevonása jelentős előnyt jelent validálás során, sok szimuláció még mindig elhanyagolja az emberi tényezők vizsgálatát. A cikk ezért bemutatja az emberi teljesítményvizsgálat valós idejű szimulációkba való integrálásának előnyeit. Röviden összefoglalja az emberi kogníció alapjait, amelyek relevánsak lehetnek szimuláció során, majd szisztematikusan kifejti a validációs lépéseket azok sajátosságával; előnyeivel és kihívásaival. Végül a SESAR 2020 és humánfaktor kutatások szempontjából fontos projektek kerülnek részletezésre.

Kulcsszavak: valós idejű szimuláció, emberi tényezők, légiforgalmi irányítás, validáció, kísérleti pszichológia

Kling Fanni Szimulációs adatelemző HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt. fanni.kling@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0001-7379-9069	Kling Fanni Data Scientist HungaroControl Hungarian Air Navigation Services fanni.kling@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0001-7379-9069
Papp Gábor Szimuláció és Validáció csoportvezető HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt. gabor.papp@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-5676-9711	Papp Gábor Head of Simulation and Validation Unit HungaroControl Hungarian Air Navigation Services gabor.papp@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-5676-9711
Dr. Rohács Dániel, PhD Szakmai fejlesztési osztályvezető HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt. daniel.rohacs@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417	Rohács Dániel, PhD Head of Research, Development & Simulation Dept. HungaroControl Hungarian Air Navigation Services daniel.rohacs@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-18-0433_Kling_F-Papp_G-Rohacs_D.pdf

Varga Béla, Tóth József

A SZÉNDIOXID, MINT LEGFŐBB „ELLENSÉG”, AVAGY MI AZ ICAO¹ ÁLTAL LÉTREHOZOTT „CORSIA” SZEREPE EBBEN A HARCBAN

Sajnos a repülés közben elégetett tüzelőanyaggal számos károsanyag szabadul fel. A klímaváltozást figyelembe véve a legnagyobb gondot a széndioxid kibocsátás jelenti. Ennek mennyisége csak úgy csökkenthető, ha kevesebb tüzelőanyagot égetünk el. Tekintetbe véve azonban a légiközlekedés várható növekedési ütemét ennek mértéke további intézkedések nélkül a következő 30 évben háromszorosára nőne. Ennek fényében az ICAO úgy határozott, hogy az ICAO és tagállamai az érintett szervezetekkel együttműködve törekednek arra, hogy elérjék a globális úgynevezett "széndioxid semleges növekedést", ami azt jelenti, hogy 2020-tól, a nemzetközi légi közlekedési iparág nettó széndioxid kibocsátása nem növekedhet. Ebben a cikkben ennek az intézkedés csomagnak főként egyik elemével az úgynevezett Piaci Alapú Intézkedésekkel (Market Based Measures, MBM), vagyis a CORSIA-val (Carbon Offsetting and Reduction Scheme of International Aviation) foglalkozunk.

Kulcsszavak: nemzetközi légiközlekedési iparág, klímaváltozás, széndioxid kibocsátás, ICAO, CORSIA, Piaci Alapú Intézkedés, széndioxid ellentételezés

A számok tükrében

A kerozin égésekor keletkező égéstermékeket vizsgálva (1. táblázat) a széndioxid és a víz keletkezése elkerülhetetlen velejárója az égésnek. Egy kg tüzelőanyag-fogyasztásra jutó kibocsátás mértéke nem csökkenthető, legfeljebb maga a tüzelőanyag-fogyasztás takarékosabb hajtóművekkel, aerodinamikailag jobb sárkány, szárny kialakítással, forgalomszervezéssel. A többi károsanyag kibocsátásának mértéke némileg csökkenthető. A kénoxid származékok alapvetően nem az égőterek és az égés minőségétől függnnek, hanem a finomítás során a tüzelőanyagban maradt kéntartalomtól. A többi összetevő viszont jelentősen függ az égőterek kialakításától és ezen keresztül az égés minőségétől.

káros anyag	CO ₂	H ₂ O	NO _x	SO _x	CO	El nem égett tüzelőanyag	korom
gramm/kg tüzelőanyag	3100	1394	9–15	0,3–0,8	0,2–0,6	0–0,1	0,01–0,05

1. táblázat Egy kg tüzelőanyag elégetése során keletkezett égéstermékek grammban kifejezve [1]

Az égés során keletkezett károsanyagokat hatásuk szempontjából is ketté kell választani. Egyrészt a közvetlen földközeli környezetszennyezésre, illetve a magaslégköri szennyezésre.

A földközeli környezetszennyezés alapvetően a repülőterek közel-körzetében jelentős és ilyen szempontból a gurulás, a fel és leszállás, valamint az emelkedés és megközelítés fázisait érinti a repülésnek. Mivel ezek közvetlenül érintették a repülőterek környezetét és ennek megfelelően az ott élő lakosságot és természetet, így ez került elsőnek a figyelem középpontjába és lett a szabályozások tárgya is. Ennek megfelelően az ICAO már az 1960-as évektől törekszik egyre szigorúbb szabályozással ezeknek a szennyező anyagoknak a csökkentésére.

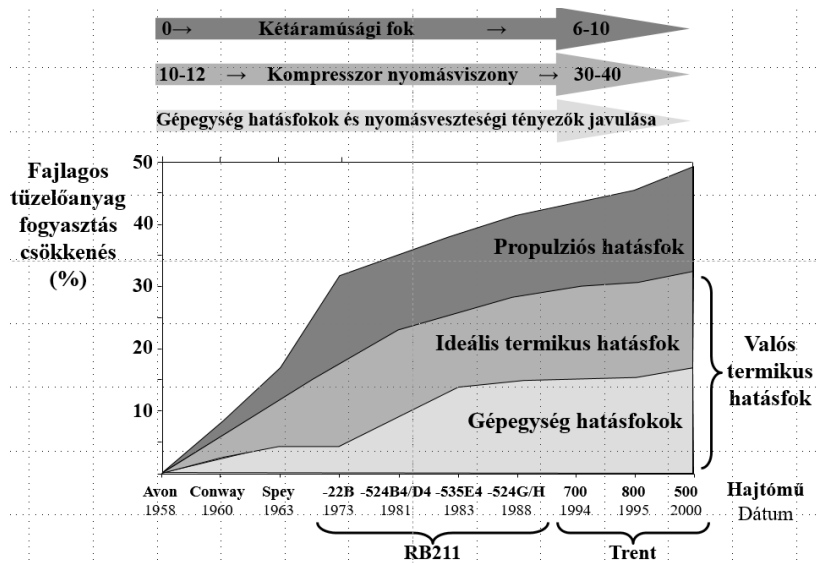
¹ ICAO: International Civil Aviation Organization



1. ábra Magas koromkibocsátást jelzi a sűrű fekete füst a baloldali képen látható repülőgépen

A magas-légköri környezetszennyezés nem annyira nyilvánvaló és azonnali hatású, de hosszabb távon következménye súlyosabb lehet, figyelembe véve globális felmelegedés, a klímaváltozás és az ózonréteg károsodásának már ma is jelenlévő jelenségeit. A sztöchiometrikus égésnél keletkező vízre mondhatnánk, hogy ez ártalmatlan, hiszen a természetben előforduló, életünk szerves részét képező anyag. Magas-légköri kibocsátásának hatása még ma sem tisztázott, de a környezet és klímavédelmi szakértők számára egyre aggasztóbb a nagymennyiségű vízgőz sztratoszférába kerülése. A fő „ellenség” ebből a szempontból azonban a széndioxid. Ahogy az 1. táblázatból kiolvasható, minden tonna elégetett tüzelőanyag kb. 3,1 tonna széndioxid felszabadulásával jár együtt.

Az éghajlatváltozással foglalkozó kormányközi munkacsoport (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) legfrissebb adatai szerint a légi közlekedés (belföldi és nemzetközi) az emberi tevékenység által termelt globális széndioxid kibocsátás kb. 2%-át teszi ki (814 millió tonna), ebből a nemzetközi légiközlekedés a kibocsátás közelítőleg 1,3%-áért felelős.

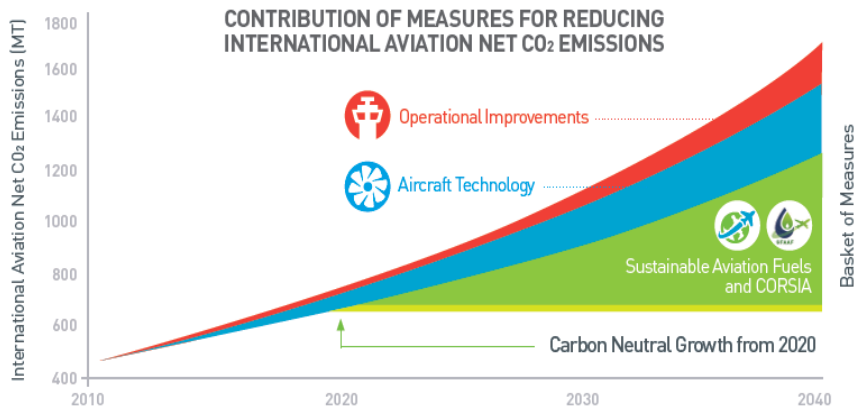


2. ábra A Rolls Royce hajtóművek fajlagos tüzelőanyag-fogyasztásának javulása 1958 és 2000 között [2]

Mondható ez annak ellenére, hogy jelentős technológiai fejlődés történt a légiközlekedési ágazatban, hiszen a ma gyártott légi járművek utas-kilométerenkénti tüzelőanyagfogyasztása mintegy 80%-kal csökkent az 1960-as évekkel összehasonlítva. Ebben hatalmas, de nem egyedülálló szerepe van a hajtóműveknek, mint ahogy ez a 2. ábrán látható. Az elkövetkezendő évtizedekben a légi járművek tüzelőanyag-hatékonysága mintegy 1–2%-al javulhat, miközben a légiközlekedési iparág várható 5%-os éves növekedése nagymértékben meghaladja ezt. A két tendencia tükröződik az ICAO Tanácsának légiközlekedési környezetvédelmi bizottsága

(ICAO Council’s Committee on Aviation Environmental Protection CAEP) környezeti trendértékelésében, mely szerint a nemzetközi légitársaságok tüzelőanyag felhasználása a 2010-es szinthez képest 2040-re körülbelül 2,8–3,9-szeresre nő.

2013 októberében az ICAO Közgyűlés 38. ülésén elfogadta az A38-18. sz. határozatot, amelyben az a célkitűzés fogalmazódik meg, hogy az ICAO és tagállamai – az érintett szervezetekkel együttműködve – törekednek arra, hogy elérjék a nemzetközi légi közlekedés globális nettó széndioxid kibocsátás 2020-as szinten történő befagyasztását (az úgynevezett „széndioxid-semleges növekedést 2020-tól”, vagy az eredeti angol kifejezéssel „Carbon Neutral Growth from 2020”) [3].



3. ábra A széndioxid kibocsátás várható növekedése 2040-ig és a tervezett intézkedéscsomag a széndioxid semleges növekedés fenntartására [4]

A Közgyűlés rögzítette az ICAO globális törekvéseinek elérését célzó intézkedés csomagot. Ez a 3. ábrának megfelelően magában foglalja:

- a technológiai elvárásokat mind hajtómű, mind a sárkány-szerkezeti szempontból (Aircraft Technology);
- a forgalmi fejlesztéseket úgy a földi műveletek, mind a légiforgalmi irányítás szempontjából (Operational Improvements);
- valamint a fenntartható alternatív üzemanyagok alkalmazását, és a Piaci Alapú Intézkedéseket (Sustainable Aviation Fuels and Market Based Measures, MBM).

A Piaci Alapú Intézkedések az ICAO által a CORSIA elnevezést kapták, ami egy rövidítés (Carbon Offsetting and Reduction Scheme of International Aviation), melynek talán a „Nemzetközi Légiközlekedés Szén(dioxid) Ellentételezési és Csökkentési Tervezete” kifejezés felel meg. Ki kell emelni azonban, hogy a CORSIA csak a nemzetközi légiforgalomra, és ezen belül is csak a merevszárnyú repülésre vonatkozik.

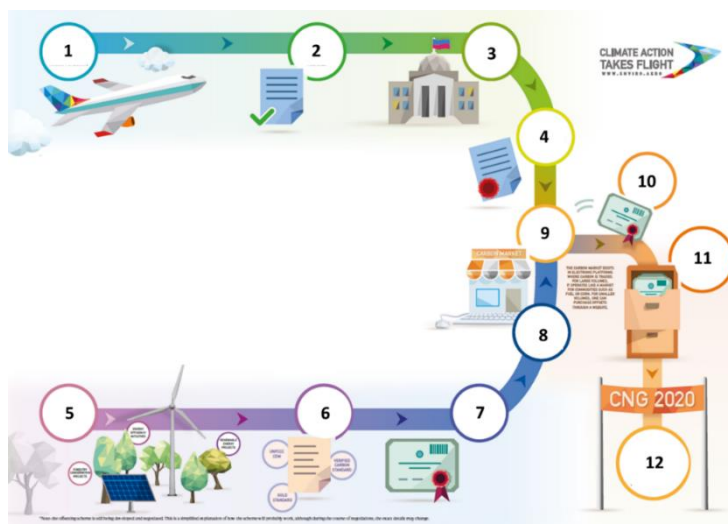
A CORSIA DIÓHÉJBAN

A nem MBM-intézkedésekkel elért összesített környezeti előny sem lesz elegendő ahhoz, hogy a nemzetközi légitársaságok ágazat 2020 után tartani tudja a széndioxid-semleges növekedést a forgalom intenzív növekedése miatt. A globális MBM-rendszer a megmaradt rés ellentételezésével, széndioxid kibocsátás csökkentő, vagy éppen a már kibocsátott széndioxidot elnyelő projektek finanszírozásával teszi lehetővé a nettó kibocsátás szinten tartását, aminek esszenciája a 4. ábrán látható.



4. ábra A piaci alapú intézkedések (Market Based Measures, MBM) lényege [6]

Mit jelent az ellentételezés? Az érintett szervezet, vállalat a széndioxid kibocsátását kompenzálja a széndioxid piacon (Carbon Market) ún. karbon krediteteket vásárolva. A karbon kreditek teremtik meg a pénzügyi alapját a világ különböző pontjain létrehozott széndioxid kibocsátás csökkentő projekteknek, amivel a nettó széndioxid kibocsátás szinten tartható.



5. ábra A széndioxid ellentételezés folyamata [5]

Hogyan valósul meg az ellentételezés az 5. ábra alapján?

1. a légitársaságok, vagy a repülőgép(ek) üzemeltetők, követik és rögzítik a széndioxid kibocsátásukat (minden tonna elégetett tüzelőanyag egységesen 3,06 tonna széndioxid kibocsátást jelent);
2. a légitársaságok széndioxid kibocsátási jelentései független ellenőrző szervezetek által kerülnek jóváhagyásra;
3. a légitársaságok az ellenőrzött és jóváhagyott kibocsátási jelentéseiket benyújtják az országuk illetékes kormányzati szerveihez;
4. a kormányzati szervek az ICAO-val karöltve értesítik az adott légitársaságot milyen mennyiségű széndioxid kibocsátást kell ellen tételezniük;

5. az ellentételezés alapja a világ bármely pontján – sokszor fejlődő országokban létesített – klíma projektek (energia-hatékonysági megoldások, megújuló energia projektek, erdőtelepítés, lásd 6. ábra);
6. egyes projektek esetében nemzetközileg elismert sztenderdek alapján kell bizonyítani a projekt tényleges széndioxid kibocsátás csökkentő hatását;



6. ábra Példák az ellentételezésből támogatott klíma projektekre [6]

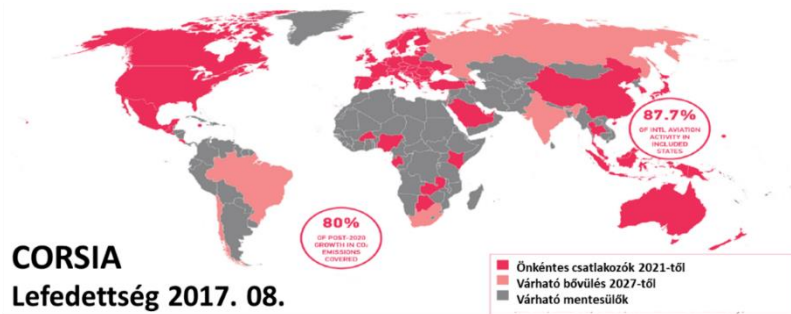
7. egy tonna széndioxid kibocsátás „megtakarítás” képez egy széndioxid ellentételezési egységet, carbon jegyet (Carbon Credit);
8. ezek az ellentételezési egységek jelennek meg az ún. széndioxid piacon (Carbon Market) és forgalmuk, adás-vételük független brókereken, vagy bankokon keresztül valósul meg;
9. a két folyamat összetalálkozik amennyiben ezen a „piacon” a légitársaságok megveszik a megfelelő mennyiségű Carbon Creditet;
10. amikor a Carbon Credit felhasználásra került annak érdekében, hogy valamely légitársaság széndioxid kibocsátását ellen tétellezze, törlésre is kerül az újra felhasználás elkerülésére;
11. az ellenőrzés érdekében egy globális regisztrációs rendszer a tagországok regisztrációs rendszerein keresztül nyomon követi az ellentételezési folyamatot;
12. a széndioxid-semleges növekedés akkor valósul meg, ha a légitársaságok által megvásárolt Carbon Creditek lefedik nemzetközi légitársaságok 2020-as bázis széndioxid kibocsátásához képesti a növekményt.

CORSIA IDŐREND, ÉS RÉSZTVEVŐK

A CORSIA három fázisból áll. Kísérleti szakasz (Pilot Phase) 2021–2023. Első szakasz (First Phase) 2024–2026. Mindkét szakasz önkéntes. Eddig 72 állam jelentkezett önként a program végrehajtására, amely várhatóan a CO₂-növekedés mintegy 80% -át adja a 2021–2035-ös időszakban, valamint ezek az országok ma a nemzetközi légiközlekedési iparág 87,7%-át fedik le, lásd 7. ábra. Az önkéntes jelentkezés nyitott, tehát további országok jelentkezésére is lehet még számítani.

Második szakasz (Second Phase) 2027–2035. A részvétel kötelező mindazon országoknak, amelyek részesedése a nemzetközi légiközlekedésben nagyobb, mint a teljes nemzetközi légiközlekedési volumen 0,5%-a (világoskék színezés), vagy a nemzetközi légiközlekedés összes résztvevőjét sorba állítva részesedésük alapján csökkenő sorrendben, és részesedésüket összeadva a 90%-os határon belül esnek (lila színezés), lásd 2. táblázat. Egy adott ország egyéni

részesedése illetve a kumulatív részesedés számításának alapja a 2018-ban teljesített „hasznos tonna kilométer” (Revenue Tonne Kilometre, RTK). Ez egy olyan mérőszám a forgalom jellemzésére, ahol a szállított tömeg (utasok esetében általában utasonként 90 kg-al számolva) felszorozásra kerül a megtett kilométerrel.



7. ábra A CORSIA-hoz önkéntesen csatlakozó, a kötelező szakaszban szükségszerűen csatlakozó és a várhatóan mentesülő országok [4]

A zöld színnel jelzett országok az 2. táblázatban már önkéntesen jelentkeztek a programba és un. „CORSIA országok”, habár 2027 után legtöbbjüknek piaci részesedésük alapján egyébként is kötelező válna a részvétel. Az ugrások miatt nem szerepelünk az 2. táblázatban, mindazonáltal valószínűleg piaci részesedésünk alapján 2027-től sem lenne kötelező a csatlakozás, de Magyarország is az önként jelentkező országok között van.

State	Individual share of total RTK	Cumulative share of total RTK
China	11.76%	11.76%
United States	11.70%	23.46%
UAE	8.8%	32.27%
...
Ethiopia	0.55%	88.73%
South Africa	0.54%	89.26%
Indonesia	0.52%	89.78%
Finland	0.52%	90.30%
Mexico	0.52%	90.82%
Israel	0.50%	91.32%
Austria	0.49%	91.81%
Panama	0.47%	92.28%
Viet Nam	0.44%	92.71%
Colombia	0.43%	93.14%
...
Iran	0.12%	97.84%
...

LDC/SIDS/LLDC

Volunteer

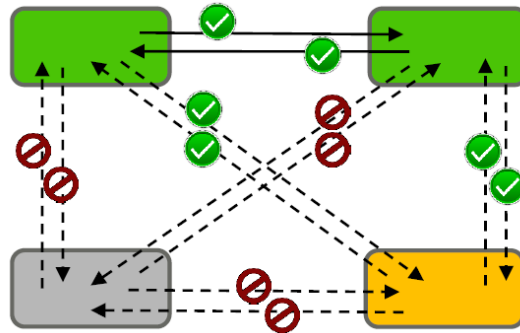
Individual RTK > 0.5%

Cumulative RTK < 90%

2. táblázat Példa a résztvevő és mentesülő országok meghatározására [4]

A fenti kritériumok alapján a kötelező kategóriából kieső országok mellett mentesülnek még a „legkevésbé fejlett országok” (Least Developed Countries, LDC), a „fejlődő kis sziget államok” (Small Island Developing States, SIDS) és a „tengerparttól elzárt fejlődő országok” (Landlocked Developing Countries, LLDC), piros színezéssel jelölve az 2. táblázatban. Az ICAO a mentesített országokat is bátorítja az önkéntes csatlakozásra. Ennek az az oka, hogy még abban az esetben is, ha nincsenek az adott országban nyilvántartásba vett légi jármű-üzemeltetők (és ezért nincs részvételi kötelezettség), a részvétel hozzáadja a külföldi légi jármű-üzemeltetők által az adott ország és más részt vevő államok közötti útvonalakat a CORSIA által lefedett útvonalakhoz, tovább csökkentve a nem ellen tételezett széndioxid kibocsátást, lásd 8. ábra sárga színnel jelölt országa.

Valószínűleg erre lesz is hajlandóság, figyelembe véve, hogy az ellentételezések mértéke ezekben az országokban jelentős lehet. Az ICAO A39-3. számú határozat külön felhívja erre a résztvevő országok figyelmét, hogy az ellentételezések jelentős része fejlődő országok széndioxid csökkentő projektjeiben valósuljon meg. Ebben a szakaszban (2027-től) a CORSIA országok várhatóan már a nemzetközi légitársasági iparág legkevesebb 90%-át fogják lefedni.



8. ábra Új csatlakozó (sárgával ország) növeli a lefedett forgalmat és ezzel az ellen tétélezett CO₂ kibocsátást

Egyes országok több okból is mentesülhetnek, de ennek nincs különösebb jelentősége. Megjegyzendő, hogy majd a valós helyzetben is valószínűleg a már szociális-gazdasági helyzetük (LDC, SIDS, LLDC) miatt mentesült országok kerülnek a forgalmi volumenük okán is mentesítésre.

A SZÉNDIOXID KIBOCSÁTÁS BÁZIS ÉRTÉKÉNEK MEGHATÁROZÁSA ÉS AZ ELLENTÉTELEZÉS SZÁMÍTÁSA

Az országok és ezen belül a repülőgép üzemeltetők 2019-től megkezdik a széndioxid kibocsátásuk monitorozását és jelentését. A 2019 és 2020-as értékek átlaga adja azt az alapszintet, bázis értéket (Base Line), amit a nettó széndioxid kibocsátás tekintetében tartani kell, illetve az ezen felüli részt a nemzetközi légitranszport szereplőinek ellen tétélezni szükséges. A folyamat megértését segíti a 3. táblázat. (Természetesen ezek az adatok csak a szemléltetést szolgálják és jelenthetnek pl. ennyi ezer tonna CO₂ kibocsátást.) Fontos kiemelni, hogy minden ország kötelezett a jelentésre (nem csak a CORSIA országok), viszont az alapszint (Base Line) meghatározásánál csak a CORSIA országok közötti útvonalakat veszik figyelembe (útvonal alapú számítás, vagy Route Based Approach), ami azt jelenti, hogy azok az útvonalak, amelynek induló és érkezési pontja is CORSIA ország. Az ellentételezés kötelezettsége is csak az ezen útvonalakon keletkező CO₂ többletre vonatkozik. Ennek megfelelően a 2021-es évre az alapszint $(316+334)/2=325$ a 3. táblázat adatai alapján. Mivel az első két önkéntes szakaszban (2021–2026) az országok évenként dönthetik el a csatlakozásukat, esetleg kilépésüket (az adott év június 30-ig kell megtenni a nyilatkozatukat), ezért ezt az alapszintet évente újra kell definiálni.

Folytatva a fenti gondolatmenetet a 2024-es év alapszintje $(488+519)/2=503,5$. 2021-től kezdődik az ellentételezés számítása, amit az un. szektor-növekedési faktor (Sectoral Growth Factor) meghatározásával kezdenek. Ennek értéke a 2021-es évet tekintve a példa szerinti feltételezett széndioxid kibocsátás mellett $(346+325)/346=6,1\%$, illetve 2024-re $(638+503,5)/638=21,1\%$.

Útvonal alapú számítás		Kísérleti szakasz				Első szakasz			
Indulás	Érkezés	CORSIA útvonal?	CO ₂ (2019)	CO ₂ (2020)	CO ₂ (2021)	CORSIA útvonal?	CO ₂ (2019)	CO ₂ (2020)	CO ₂ (2024)
A	B	Yes	52	54	55	Yes	52	54	60
A	C	No	52	54	55	No	52	54	60
A	D	Yes	52	54	55	Yes	52	54	60
A	E	No	53	56	58	No	53	56	68
A	F	No	53	56	58	Yes	53	56	68
A	G	No	53	56	58	Yes	53	56	68
A	H	No	54	59	63	No	54	59	80
A	I	Yes	54	59	63	Yes	54	59	80
A	J	No	54	59	63	No	54	59	80
B	A	Yes	52	54	55	Yes	52	54	60
B	C	No	52	54	55	No	52	54	60
B	D	Yes	52	54	55	Yes	52	54	60
B	E	No	52	54	55	No	52	54	60
B	G	No	54	59	63	Yes	54	59	80
B	H	No	54	59	63	No	54	59	80
B	I	Yes	54	59	63	Yes	54	59	80
B	J	No	54	59	63	No	54	59	80
C	A	No	53	56	58	No	53	56	68
C	D	No	53	56	58	No	53	56	68
D	E	No	32	34	35	No	32	34	41
E	F	No	9	10	11	No	9	10	14
F	A	No	7	8	9	Yes	7	8	12
G	B	No	5	6	7	Yes	5	6	10
H	I	No	2	3	3	No	2	3	5
Teljes nemzetközi CO ₂ kibocsátás		-	1062	1132	1181	-	1062	1132	1402
Teljes CORSIA CO ₂ kibocsátás		-	316	334	346	-	488	519	638

3. táblázat Az alapszint és a CO₂ ellentételezés számítása [7]

Mit jelent ez egy adott légitársaság számára példaként a 2024-es évet figyelembe véve? Vegyük „A” ország „A1” légitársaságát, amely „B”, „C” és „D” országokba repül a 4. táblázat szerint. Ebből „C” ország nem CORSIA ország, tehát ez a széndioxid kibocsátás nem ellentételezendő. Tehát a CORSIA útvonalakon összesen 120 ezer tonna széndioxidot bocsát ki. Ekkor az ellentételezendő CO₂ mennyisége $120 \times 0,211 = 25,32$ ezer tonna. Érdekessége, hogy ebben az időszakban az adott légitársaság növekedési faktora csak $(120+106)/120 = 11,6\%$. Ennek ellenére a 2021–29 közötti periódusban a szektor-növekedési faktort kell alkalmazniuk az ellentételezési jegyek (Carbon Credit) meghatározásánál. 2030–32 között 80–20%, 2033–2035 között 30–70% az arány. Tekintve a fenti adatokat, ha ezek a 2030–32 periódusra vonatkoznának az ellentételezendő CO₂ mennyisége $0,8 \times 120 \times 0,211 + 0,2 \times 120 \times 0,116 = 23,056$ ezer tonna lenne. Ez azt jelenti, különösen a 2021–29-es periódusban, hogy a lassabban növekvő légitársaságok rosszabbul járnak, a gyorsabban növekvő légitársaságok pedig bizonyos mértékben haszonélvezői a rendszernek.

State	Airline	From	To	CO ₂ (2019)	CO ₂ (2020)	CO ₂ (2021)	CO ₂ (2024)
A	A1	A	B	52	54	55	60
A	A1	A	C	52	54	55	60
A	A1	A	D	52	54	55	60
A	A2	A	E	53	56	58	68
A	A2	A	F	53	56	58	68

4. táblázat „A” ország „A1” légitársaságának ellentételezési kötelezettsége a 2024-es évre [7]

A REPÜLŐGÉP ÜZEMELTETŐK ÉS A NEMZETI HATÓSÁGOK AZONNALI FELADATAI

A széndioxid kibocsátás elszámolása, jelentése és verifikálása – angol megfelelőjének rövidítésével MRV – Measuring, Report, Verification – egy komplex folyamat, továbbiakban MRV. Ezzel kapcsolatban már 2018-tól elkezdődnek mind a nemzeti hatóságok, mind a légitársaságok feladatai [8].

- 2018. január-szeptember: a nemzeti hatóságok biztosítják az MRV eljárások kidolgozásához a szükséges információkat a repülőgép üzemeltetők számára;
- 2018. szeptember 30.: a repülőgép üzemeltetők nyújtják be jóváhagyásra az általuk kidolgozott MRV eljárásokat;
- 2018. november 30.: a nemzeti hatóságok jóváhagyják ezeket az eljárásokat;
- 2019. január 1.: Megkezdődik a széndioxid kibocsátás mérése;
- 2019. december 31.: Befejeződik az első év mérése;
- 2020. május 31.: a repülőgép üzemeltetők a verifikálás után benyújtják a 2019-es széndioxid kibocsátási jelentésüket a nemzeti hatóságoknak;
- 2020. augusztus 31.: az országok leadják az összegzett széndioxid jelentést az ICAO felé.

Ahogy az már az előzőekben megjelent, összefoglalva a CORSIA alá tartoznak a polgári, me-revszárnyú, nemzetközi repülések, ahol az induló és a végpont is CORSIA ország. Adott COR-SIA országban egyes repülőgép üzemeltetők, illetve repülőgépek mentességet kapnak:

- azok a repülőgépek, amelyek maximális felszálló tömege nem haladja meg az 5700 kg-ot;
- azok a repülőgép üzemeltetők, akiknek a teljes CO₂ kibocsátása az adott évben keve-sebb, mint 10 000 tonna;
- minden humanitárius, egészségügyi és tűzoltó repülés.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az ICAO igyekezett egy egységes globális széndioxid ellentételezési rendszert kidolgozni, és ezzel elkerülni az un. „patchwork” (foltogatásos) megoldásokat, ami alatt a nemzeti, vagy re-gionális rendszerben működő széndioxid adókat, vagy más ellentételezéseket értik. Ezek a meg-oldások nem képeznének egységes sztenderdet, ennek megfelelően bonyolultabb és költsége-sebb lenne, ugyanakkor pl. adók esetében ezek a pénzek nem feltétlenül jelennének meg a tény-legesen széndioxid csökkentő projektekből. Az egységes intézkedés nemcsak egyszerűbbé te-szi a rendszert, hanem csökkenti a piaci torzulás kockázatát is, mivel minden légitársasággal szemben egységes követelményeket támaszt. A CORSIA önmagában nem vezet a repülés fen-n tartható jövőjéhez. Ezzel a globális, piaci alapú intézkedéssel együtt az ágazat továbbra is négy pilléren alapuló stratégiát tart célszerűnek az éghajlatváltozással kapcsolatban, beleértve a tech-nológiai, üzemeltetési és infrastrukturális fejlesztéseket.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Nicholas Cumpsty, Jet Propulsion, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- [2] <https://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/mphil/Trent1/sld032.htm>, (2018.01.04)
- [3] https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/A39_CORSA_FAQ1.aspx, (2017.12.23)
- [4] <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/default.aspx>, (2017.12.23)
- [5] https://www.aviationbenefits.org/media/149668/abbb2016_full_a4_web.pdf, (2017.12.23)
- [6] <http://www.https://www.firstclimate.com/>, (2017.12.23)
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=nSeFxOVLAm0&t=398s>, (2017.12.23)
- [8] <http://www.verifavia-shipping.com/>, (2018.01.04)

CARBONDIOXIDE AS THE MOST IMPORTANT ADVERSARY WE FACE OR WHAT IS THE ROLE OF "CORSA" ESTABLISHED BY ICAO IN THIS BATTLE

Unfortunately, the aviation by the combusted fuel produces a lot of the pollutants released into the atmosphere. Considering climate change, the most serious problem is the carbon dioxide emissions. This amount can be reduced only by burning less fuel, but considering the predicted growth rate of aviation, the amount of CO₂ will increase by three times in the next 30 years without further action. In light of this, ICAO and its Member States, with relevant organizations, would work together to strive to achieve a collective medium term global aspirational goal of keeping the global net CO₂ emissions from international aviation from 2020 at the same level (so-called "carbon neutral growth from 2020"). In this paper, we deal mainly with one of the branches of these measures, the so-called Market Based Measures (MBM), namely the CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme of International Aviation).

Keywords: international aviation industry, climate change, carbon dioxide emission, ICAO, CORSIA, Market Based Measures, Carbon Offsetting

Varga Béla (PhD)
Egyetemi docens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
Sárkány-hajtómű Tanszék
varga.bela@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0003-3454-0825

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

Tóth József (MSc, MBA)
gyakorlati oktató
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék
toth.jozsef@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0001-8647-3404

Tóth József (MSc, MBA)
Practical instructor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
Department of Aircraft and Engine
toth.jozsef@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0001-8647-3404

A GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légitözlekedés-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.



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-19-0437_Varga_Bela-Toth_Jozsef.pdf

Venczel Márk, Bicsák György, Rohács Dániel, Rohács József

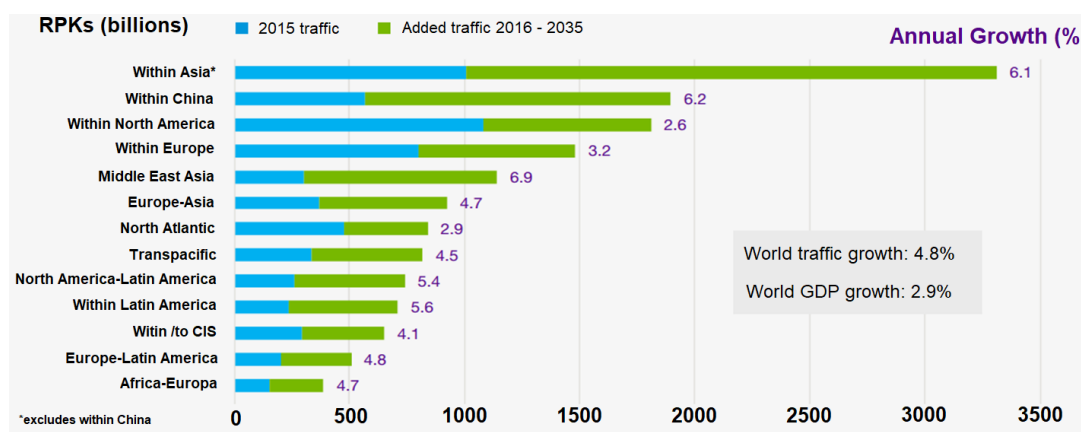
HIDROGÉNCELLA ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA HIBRID HAJTÁSÚ KISREPÜLŐGÉPEKHEZ

A repülés olyan húzóágazat, mely kiváló indikátora egy ország, térség vagy piac fejlettségi szintjének, egyértelműen jelzi azok gazdasági fejlettségét. Ahhoz, hogy a folyamatosan növekvő tüzelőanyag igényt ki lehessen elégíteni, állandó utánpótlásra van szükség, mely napjainkban több szempontból is nehézkesnek bizonyul. Rövidtávon szükség lesz eleinte komplementer alternatív tüzelőanyagokra, de hosszú távon figyelembe kell vennie a fosszilis energiahordozók teljes kiszorulását, kivonását a világpiacon. Ezt az „ürt” hivatottak betölteni az alternatív tüzelőanyagok. Ennek egyik opciója a hidrogéncella vagy más néven tüzelőanyag-cella alkalmazása, amely tulajdonképpen egy folyamatos üzemű elektrokémiai galvánelem, ami képes tüzelőanyagának kémiai energiáját közvetlenül elektromossá átalakítani. E cikk a hidrogéncellák felépítésének, működésének bemutatása után áttekintést ad azok repülőiparon belüli felhasználási lehetőségeiről a repülőiparon, különös tekintettel a jelenleg koncepcionális szinten létező, hibrid hajtású kisrepülőgépekhez.

Kulcsszavak: elektromotor, hidrogéncella, hibrid hajtás, kisrepülőgép, még elektromosabb repülőgép

BEVEZETÉS

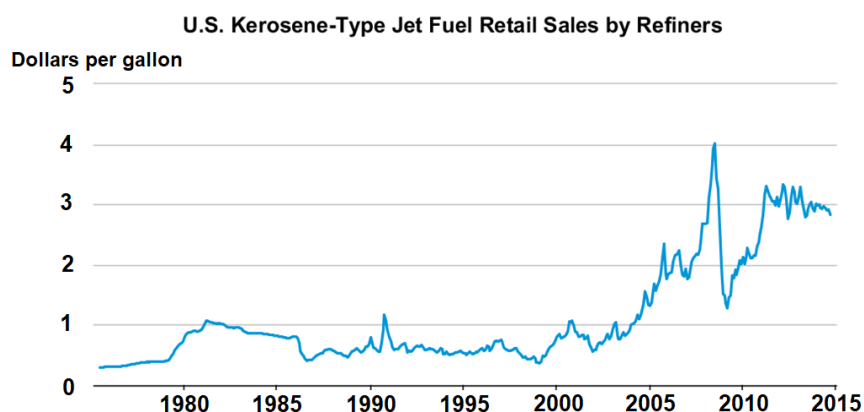
A repülés olyan húzóágazat, mely kiváló indikátora egy ország vagy térség piac fejlettségi szintjének, hiszen a polgári és kereskedelmi repülések száma egyértelműen jelzi ezek gazdasági fejlettségét, annak növekedését (GDP-re vetítve), a népességet, annak összetételét, illetve finanszális lehetőségeit. A már most is jól kiépült és fejlett piacoknak számító USA, illetve EU légi forgalma nem kiemelkedő, de stabil növekedést mutat, és ezt egy igen magas járatszám mellett képes produkálni. A légiforgalomban az igazi „robbanást” viszont a távolkeleti országokban bekövetkező fejlesztések fogják meghozni. Így például 2030-ra várhatóan Kína lesz a legnagyobb piac, amit szorosán India követ. Figyelembe véve, hogy az ázsiai és óceániai régió már most is a légi utasforgalom több mint 40%-át adja, a légiforgalom tüzelőanyag felhasználása sosem látott magasságokba fog emelkedni. Ahogy az 1. ábra is szemlélteti piacokra bontva, a mostani 2–3% körül növekedés várhatóan közel a duplájára emelkedik két évtizeden belül.



1. ábra A légiforgalom várható növekedési rátája 2016-2035 időszakban piacra bontva [1]

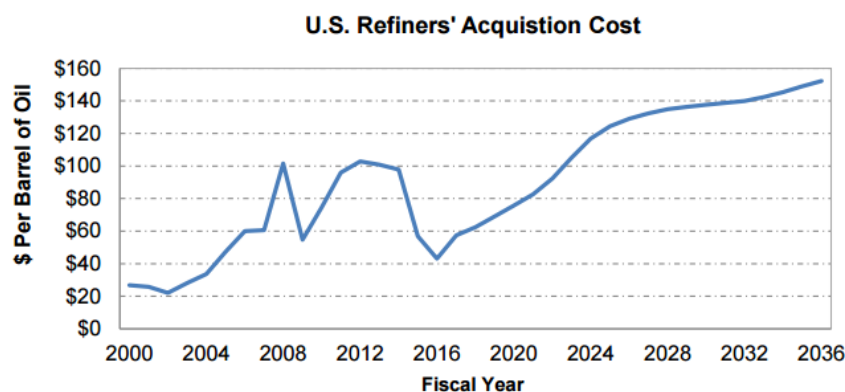
A repülőiparban használt tüzelőanyagok alapanyaga a kőolaj, természetes eredetű, élő szervezetek bomlása során képződő olyan ásványi termék, mely a Föld szilárd kérgéből termelhető ki. Nagyobb része folyékony szénhidrogén, de előfordulási helyétől függően, kisebb-nagyobb mennyiségben akár gáz vagy szilárd halmazállapotú szénhidrogéneket is tartalmazhat. Komplex vegyület lévén megtalálhatóak benne kénnel, oxigénnel, nitrogénnel képzett vegyi összetevők, víz és szilárd ásványi szennyezőanyagok nyomokban, esetenként akár nagyobb mennyiségben is. Tekintve magas energiataralmát, viszonylag kedvező kitermelési, szállítási és tárolási költségeit, szinte egyeduralkodónak tekinthető, ugyanakkor a limitált kitermelhető tartalékai miatt az 1970-es évek óta világos, hogy a folytonosan növekedő légiforgalom (karöltve a világ kőolajon alapuló energiafogyasztásával) rövidesen el felhasználja a még rendelkezésre álló kőolajat.

A repülőgép tüzelőanyag világpiaci árnövekedése szintén fontos katalizátora az új, alternatív tüzelőanyagok kutatásának, tesztelési folyamatának. Mivel a kőolaj ára nagyon sok összetevőre érzékeny, így a világpolitikai helyzetre, egyes vezető országok gazdasági növekedésére, fő kitermelő országok külkapcsolati rendszerének működésére, ezért a pontos előrejelzés különösen nehéz [2] Ennek ellenére, ahogy az 2. ábra is mutatja, a kőolaj árának folytonosnak tekinthető emelkedése a meglévő propulziós rendszerek hatásfokának javítása mellett a kőolaj alapú tüzelőanyagok szükséges mennyiségének visszaszorítását is magával vonja.



2. ábra A kerozin árának alakulása 1970 és 2015 között dollár/gallonra vetítve [2]

A hosszú távú előrejelzések szintén a növekvő trendet erősítik, 2036-ig a kőolaj hordónkénti ára várhatóan akár több mint duplájára is emelkedhet, lásd 3. ábra.



3. ábra A kőolaj hordónkénti árának várható alakulása 2036-ig [3]

Mindezekből következően a repülőiparnak (és a teljes járműiparnak) rövidtávon belül szüksége lesz eleinte komplementer alternatív tüzelőanyagokra, de hosszú távon várhatóan elengedhetetlen figyelembe venni a fosszilis energiahordozók teljes kiszorulását, kivonását a világpiacon. Ezt az „ürt” hivatottak betölteni az alternatív tüzelőanyagok.

HIDROGÉNCÉLLÁK BEMUTATÁSA

Lehetséges és esélyes alternatív tüzelőanyagként jöhet szóba a zéró emissziós alkalmazásra képes hidrogén, melynek égésterméke a tiszta víz. A periódusos rendszer első és legkönnyebb elemeként egy olyan erőforrást képvisel, melynek égéshője lényegesen magasabb és égési karakterisztikája jobb bármely más alternatív tüzelőanyagénál, folyamatosan rendelkezésre áll és véletlen kijutása a környezetbe nem okoz semmilyen kárt. (Levegővel égetve azonban nitrogén-oxid (NO_x) képzésére hajlamos.) Fosszilis tüzelőanyagokból (pl.: szén), fotoszintézissel, villamos és megújuló energiával (pl.: vízenergia) valamint atomenergiával is előállítható.

E tulajdonságainak köszönhetően, alkalmas alternatív energiaforrás pl. a hidrogéncella, vagy más néven tüzelőanyag-cella működtetésére. Felhasználásának két fő lehetséges területe a közlekedés és az energetika.

Hidrogéncellák felépítése

A hidrogéncella tulajdonképpen egy folyamatos üzemű elektrokémiai galvánelem, amely képes tüzelőanyagának kémiai energiáját közvetlenül elektromos energiává átalakítani. Lényegi különbség azonban a hagyományos elemekhez képest, hogy míg azok lemerülésük után használhatatlanokká válnak, addig a tüzelőanyag-cellák mindaddig üzemelnek, amíg a tüzelőanyag bevezetés biztosított.

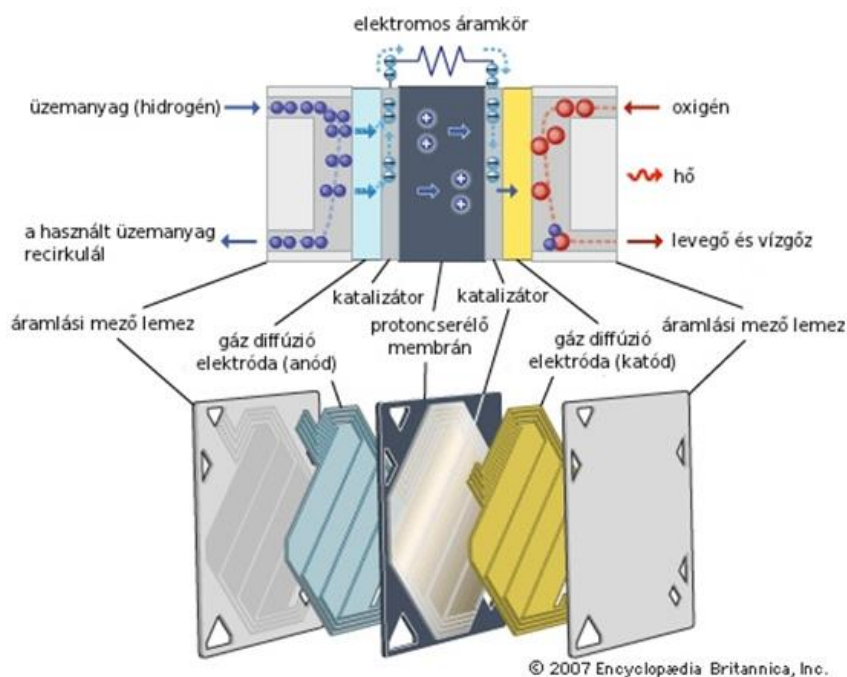
A cellalába betáplált kiindulási anyagok, a hidrogén vagy metanol, metán, illetve más fosszilis tüzelőanyagok, és az oxigén vagy szén-dioxid és levegő. Tehát több tüzelőanyag és oxidáns kombináció is lehetséges (de a hidrogénnek kötött vagy tiszta formában jelen kell lennie). A cellákban nem a hagyományos értelemben vett égés történik, hanem kémiai, molekuláris szinten értelmezett oxidáció és redukció.

A hidrogéncella szerkezetének alapegysége két porózus elektróda, egy elektrolit köré préselve szendvics szerűen. A veszélyes durranógáz kialakulásának elkerülésére a folyamatban részt vevő gázokat egymásra fektetett cellalemezek keskeny járataiban vezetik. Működésének bemutatása egy tiszta hidrogén-oxigén betáplálású tüzelőanyag-cella (PEMFC) példáján keresztül történik, ami fluor-polimer anyagú protonáteresztő membrán-elektrolittal rendelkezik.

A 4. ábra szerint a bal felső nyíláson beáramló hidrogén tüzelőanyag mennyiség két részre oszlik: egyik találkozik az anóddal és a katalizátorral, míg a másik visszakeringtethető a tüzelőanyag tartályba. Az anódreakció (oxidáció) platina bevonatú elektródon megy végbe, ami a folyamatot katalizálja (alacsonyabb energiaszintű reakcióutat nyit meg).

Működésének alapja, hogy a gáz halmazállapotú anyagok képesek a szilárd anyagok felületén adszorbeálódni. Az adszorpció az aktív felület növelésével javul, ezért a hidrogén és a platina elektróda érintkezési felülete porózus. Ezt a gyakorlatban fém/szénpor felvitelével történik. Az

adszorpció során a hidrogén molekulák szétválnak, gyökök, majd ionok és szabad elektronok keletkeznek az (1) egyenlet szerint:



4. ábra Egy tüzelőanyag-cellaegység felépítése és működési vázlatja [5]

Az elektródák egymástól való elválasztását és az anódreakció során keletkezett pozitív hidrogén ionok katódra történő átjutását a protonáteresztő membrán-elektrolit fólia végzi, amelyen keresztül áramlanak a keletkező hidrogén protonok, míg az elektronoknak kerülő utat kell tenniük az elektrolit körül. Az elektronok áramlása, mielőtt elérné a katódot, felhasználható elektromos fogyasztók működtetésére, hiszen az elektródák között potenciálkülönbség alakul ki, amit cellafeszültségnek, elektromotoros erőnek vagy üresjáratú feszültségnek is nevezünk. Ez a feszültségkülönbség teszi lehetővé a protonok számára az elektroliton való átjutást. A nikkelbevonatú katódra érkező, kerülőutat megtett elektronok ismét találkoznak az átengedett protonokkal, és a katalizátor-bevonat segítségével két lépésben egyesülnek a jobb oldalról érkező levegő oxigénmolekuláival. A katódreakció (redukció) során az oxigénmolekulák gyökökre szétválva felveszik a hidrogén által leadott elektronokat, így telítik a legkülső elektronhéjaikat a (2) egyenlet szerint:

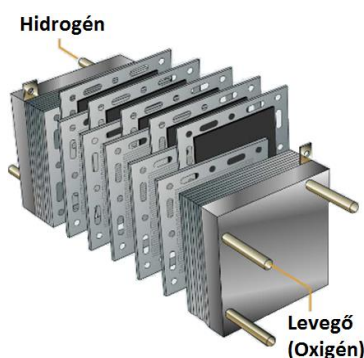


Ezzel létrejön az elektromos töltések folyamatos áramlása (elektromos áram) az anód és a katód között. Az oxigén ionok egyesülnek a hidrogénionokkal a (3) egyenlet szerint:



Az egyesülés végterméke a víz, de folyamat során hő is termelődik, amit levegő- vagy vízhűtéssel vezetnek el. A folyamatos használat során az elektródák anyaga nem fogy el és nem alakul át. Mivel egy cella kapcsolófeszültsége 0,6–0,7 V, így a gyakorlatban a nagyobb feszültség több cella soros kapcsolásával (kötegekbe) állítható elő (5. ábra). Az egyes tüzelőanyag cellákat egymástól un. bipolar lemezek választják el, illetve kapcsolják elektromosan sorba. A bipolar lemezek feladata kettős, egyrészt elektromos összeköttetést biztosítanak az egyik cella katódja

és a szomszédos cella anódja között, másrészt a bennük lévő csatornarendszer kialakítása lehetővé teszi az egyes cellák párhuzamos tüzelőanyaggal való ellátását. A jó vezetőképesség elérése érdekében a bipolár lemezek egyszerűen alakítható grafitból készülnek, így nem okoz nehézséget a kereszt- és hosszirányú furatok kialakítása bennük. Mivel sűrűsége kicsi, így nem eredményezi a telepek nagy járulékos tömegnövekedést sem. Ellenben a bipolár lemezek előállítására nagyon drága (egy tüzelőanyag cella költségének körülbelül felét teszi ki). Másik kedvezőtlen tulajdonságuk a törékenysége, ami megnehezíti a telep összeszerelését. Felhasználási méretét tekintve néhány milliméteres vastagság elegendő, mert a grafit porózus anyag és a hangsúly a reagens tüzelőanyagok egymástól való elválasztásán van. A cellák modularitása továbbá nagyfokú rugalmasságot tesz lehetővé. Egyenáramot állítanak elő, de az inverter alkalmazásával váltóárammá alakítható [5][6][7].



5. ábra Több cella sorba kapcsolásával kapott tüzelőanyag-cella telep [8]

Többféle tüzelőanyag-cellát fejlesztettek ki, melyek sokféle tüzelőanyagot képesek felhasználni, viszont tárgyalásukkor meg kell különböztetni „külső és belső” tüzelőanyagokat. Például a PEMFC típusú tüzelőanyag-cella alapvetően hidrogénnel üzemel (belső tüzelőanyag), de gyakori, hogy azt valamilyen külső tüzelőanyagból, például metánból, metanolból, földgázból, biogázból vagy szén-monoxid tartalmú gázelegekből állítják elő, akár helyileg, közvetlenül a tüzelőanyag-cellánál. E megoldás egyben a flexibilis tüzelőanyag felhasználást is lehetővé teszi, ami igen fontos és előnyös lehet a jövő energiarendszereiben.

Cellatípusok

A létező tüzelőanyag-cella típusok több szempont szerint rendszerezhetők. Üzemi hőmérsékletük szerint megkülönböztető *alacsony* és *magas hőmérsékletű* kialakítás. Üzemi nyomás szerint *nagy-, közepes- és kisnyomású* (atmoszférikus) változatok ismertek. Leggyakrabban az elektrolit fajtája szerinti felosztásukat alkalmazzák az (1. táblázat).

Fontos, hogy a tüzelőanyag-cella nem hőerőgép, így nincs benne az a veszteség, ami a belső égésű motorokban a kémiaiilag kötött (hő-) energiának mechanikai munkává történő átalakulásakor és a motormechanizmus súrlódásakor keletkezik. Mivel a tüzelőanyag-cellák hatásfoka részterhelésekor javul, az ilyen hajtás átlagos hatásfoka ma a 60%-ot is meghaladja, ami több, mint háromszorosa egy részterheléssel üzemelő Otto motorénak.

Az tüzelőanyag-cella összhatalásfoka a (4) képlet szerint számítható [6]:

$$\eta_{\text{össz}} = \eta_{th} + \eta_E + \eta_F \quad (4)$$

ahol

- η_{th} – *termodinamikai hatásfok*, amely megmutatja milyen arányban áll egymással a bevitt kémiai és a kinyerhető villamos energia;
- η_E – *elektromos hatásfok*: az elméleti kapcsolófeszültség és a feszültség veszteségek figyelembevételével kapott kapcsolófeszültség hányadosa;
- η_F – *Faraday-* vagy más néven *átalakítási hatásfok*, ami megmutatja az átalakított és a bevezetett tüzelőanyag tömegarányát.

Tüzelőanyag-cella típusok	Elektrolit	Tüzelőanyag	Üzemi hőmérséklet	Hatásfok	Teljesítmény
DMFC direkt metanol membrános cella	protonáteresztő membrán	metanol O ₂ , levegő	80–130 °C	20–30%	100 mW–1 kW
AFC alkáli elektrolitos cella	30-45%-os kálium-hidroxid oldat, gél	tiszta H ₂ , O ₂	60–90°C	60–70%	10–100 kW
PEMFC protonáteresztő membrános cella	protonáteresztő membrán	tiszta H ₂ O ₂ , levegő	70–220°C	50–70%	1 W–500 kW
PAFC foszforsavas cella	tömény folyékony foszforsav	tiszta H ₂ O ₂ levegő	150–220°C	40–60%	10 MW
MCFC olvadt karbonátos cella	olvadt lítium-, nátrium-, káliumkarbonát	H ₂ földgáz széngáz	650 °C	50–60%	100 MW
SOFC szilárd oxidos cella	szilárd cirkónium-, itriumoxid kerámia	biogáz O ₂ levegő	600–1000 °C	55–60%	100 MW

1. táblázat Fontosabb tüzelőanyag-cella típusok elektrolit szerint csoportosítva és leadott teljesítmény szerint sorba rendezve [9][10][11]

A tüzelőanyag-cellák alkalmazásának **előnyei** a hagyományos erőforrásokkal szemben [9]:

- nincs mozgó alkatrész, egyszerű felépítés, alacsonyabb karbantartási költségek;
- kis tömeg és geometriai méret;
- zajtalan, megbízható és tartós működés, környezeti hatásokkal szembeni ellenállóság. (Érzéketlen a gravitáció – és hőingadozás változásra);
- alacsony, vagy zéró emisszió;
- cella újratöltése azonnal megvalósul.

A tüzelőanyag-cellák alkalmazásának **hátrányai** a hagyományos erőforrásokhoz képest [9]:

- áruk egy nagyságrenddel magasabb a hagyományos motorokénál;
- a katalizátorként alkalmazott platina drága, kitermelhető mennyisége korlátozott;
- teljesítménysűrűsége kisebb a robbanó motorokénál;
- a hidrogén megfelelő tárolása, töltő infrastruktúrája, logisztikája még nem megoldott;
- egyéb alapvető problémák (mérgezés: hatásfokcsökkenés a lerakódás miatt, kiszáradás).

Gyártás és költségek

Napjainkban több vállalat is foglalkozik tüzelőanyag-cellák fejlesztésével, gyártásával és forgalmazásával magán, kereskedelmi és ipari célokra. Ezek közül a legjelentősebbek [12][13]:

- *USA*: Apollo Energy Systems, Bloom Energy, ClearEdge Power, Doosan Fuel Cell America, Plug Power Inc, Redox Power Systems, SymPowerco, UTC Power;
- *Kanada*: Ballard Power Systems, Hydrogenics;

- *Nagy Britannia*: AFC Energy PLC, Intelligent Energy, ITM Power;
- *Németország*: SFC Energy AG;
- *Hollandia*: Nedstack;
- *Svédország*: PowerCell AB;
- *Szingapúr*: Horizon;
- *Japán*: Toshiba;
- *Ausztrália*: Ceramic Fuel Cells.

A tüzelőanyag-cellák gyártása minden típusra hasonló módon, teljes automatizáltan történik, jól felszerelt, megfelelően kialakított gyártósorokon. A gyártási folyamat magába foglalja a különböző lemez- és fóliaegységek előzetes legyártását, az egyes elemek összeillesztését és a kész cellák alkalmassági vizsgálatát.

Gyártás és szerelés lépései egy PEMFC cellatelep esetében [14]:

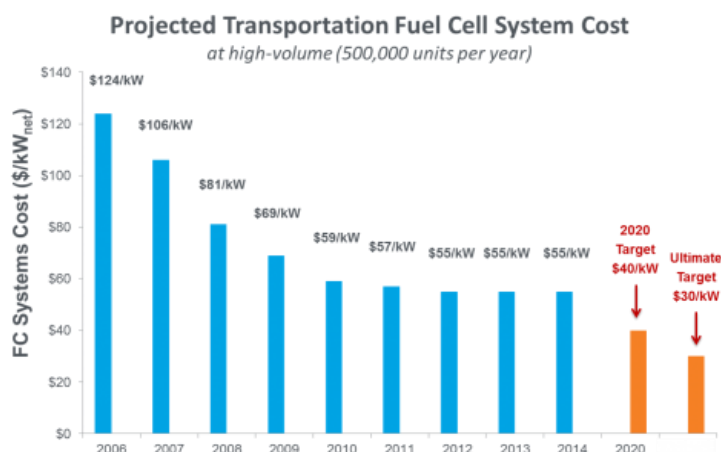
1. bipolár lemezek előkészítése;
2. tömítőegység felvitele, majd megszilárdítása hőszugárral;
3. elektrolitot, katalizátorokat és elektródákat tartalmazó protonáteresztő membrán-fólia felvitele;
4. cellák létrehozása;
5. cellák rögzítése a bipolár lemezekhez;
6. cellatelep összeállítása;
7. tömörségvizsgálat és teljesítmény teszt.

Mivel a hidrogén cella anódjának katalizátor anyaga, a platina nem áll korlátlanul rendelkezésre, kísérletek folynak arany-palládiummal történő helyettesítésére, ami kevésbé hajlamos a mérgezésre és hosszabb cella-élettartamot tesz lehetővé. Másik lehetőségként kínálkozik a helyettesítés vassal és kénnel, amelyek nagyságrendekkel csökkenthetnék a cella árát, mivel csak egyetlenben használt platina átlagos ára 1500 USD, míg ugyanitt vas alkalmazása csupán 1,5 USD-be kerülne. [11] Egy tüzelőanyag-cella alap és üzemeltetési árát több tényező is befolyásolja (típusa, felhasználás módja és teljesítményigénye, az alkalmazott alapanyagok és a tüzelőanyag ára, utóbbiból a fogyasztása, valamint a gyártó és kereskedő profitja). Ebből következően érdemes teljesítményegységre vonatkoztatott költségeket figyelembe venni. Az International Partnership for the Hydrogen Economy (IPHE) által készített kimutatás szerint, az évente 500 000 darabszámban gyártott PEMFC tüzelőanyag-cellatelep gyártási költsége az alábbi öt kategóriában a 2. táblázatban megadott értékhatárok között mozog (általában felső határhoz közelít):

Tétel	Gyártási költség [USD/kW]
Cellatelep tartó elem	1–15
Bipolár lemez	5–15
Katalizátor	10–30
Membrán	3–11
Elektróda	3–6
Összesen	22–77

2. táblázat PEMFC cellatelep gyártási költségének lebontása [15]

A 6. ábra a közlekedési rendszerekben alkalmazott tüzelőanyag-cellák piaci árának alakulását mutatja 2006-tól. A 2020-ra megállapított célérték 40 USD/kW. Ahhoz, hogy a hidrogén cellák a hagyományos módszerekkel történő elektromos áramtermelés versenyképesé válhassanak, a 30 USD/kW végső célértéket kell elérniük.



6. ábra Tüzelőanyag-cellák piaci ára (teljesítményegységre vonatkoztatva) [16]

HIBRIDHAJTÁSÚ KISREPÜLŐGÉP HAJTÁSLÁNCA

A hidrogéncella szerkezetének és működésének áttekintését követően célszerű megvizsgálni, milyen lehetőségek kínálkoznak a repülés szolgálatába állítására, mint a jövő alternatív energiaforrását, hibrid üzeművé alakított hagyományos légi járművek esetében. Elsőként célszerű a repülőgép légcsavaros hajtásláncának megtervezési lehetőségét elemezni.

A hibrid-elektromos, vagy röviden hibrid járművek olyan korszerű közlekedési eszközt jelölnek, melyek meghajtásához szükséges energiát több, egymástól eltérő működési elvű, szelektíven működtethető forrásból nyerik. Az elsődleges ezek közül többnyire valamilyen kémiai tüzelőanyag és hagyományos belsőégésű motor. A másodlagos lehet kémiai (akkumulátor, tüzelőanyag-cella) és elektromotor. A felsoroltakból legalább egyiknek képesnek kell lennie kétirányú energiaáram megvalósítására (energia leadás és visszatáplálás) [17].

A hibridhajtással megvalósítható lehetséges **üzemmódok** a:

- **tiszta villamos hajtás:** más néven akkumulátoros üzemmód, amikor a belsőégésű motor nem üzemel, nem fogyaszt tüzelőanyagot, de nem is termel energiát;
- **tiszta motorikus mód:** a meghajtást kizárólagosan a belsőégésű motor biztosítja a generátor táplálásán keresztül;
- **hibrid mód:** a meghajtás mindkét energiaforrás használatával történik;
- **motorikus és akkumulátortöltő mód:** a tüzelőanyag energiája biztosítja a meghajtást és az akkumulátorok töltését is. Tisztán párhuzamos hajtásnál ez a mód nem elérhető (lásd később). Álló jármű esete tiszta akkumulátor töltő üzemmódnak felel meg, míg haladó jármű kiegészíthető a visszatápláló fékezési üzemmóddal;
- **„visszatápláló” fékezési mód:** felszínen történő gurulásnál, megfelelő elektromos rendszer esetén - az elektromotorokat generátorként alkalmazva - a fékezések energiája az akkumulátorok töltésére fordítható.

A kisrepülőgép hibridizációjának mértéke lehet:

- **teljesen hibrid** elektromos repülőgép, amely függetlenül és kombinálva is képes elektromos és belső égésű hajtásrendszerét használni és mindkettővel jelentős teljesítményeket leadni vagy távokat megtenni.

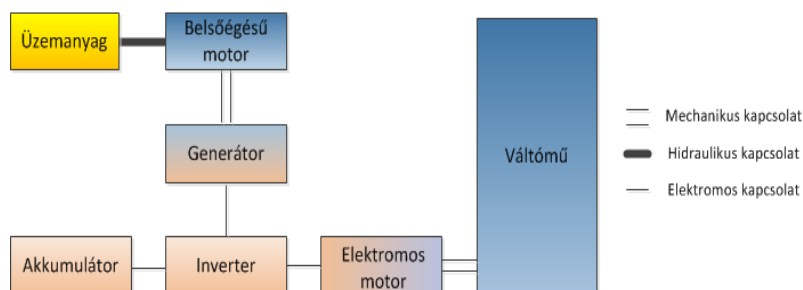
- **támogatottan hibrid** elektromos repülőgép fő teljesítmény forrása egy belsőégésű motor, ezen túl rendelkezik egy másodlagos, közepes teljesítményű, de önálló meghajtás biztosítására alkalmatlan elektromos motorral. Ilyen kialakításnál az elektromotor szerepe a motor átforgatásán és az indítás könnyítésén túl a gyorsítás támogatása.
- **enyhén hibrid** elektromos repülőgép még inkább a hagyományos repülőgépekhez hasonlít, lényegében egy túlméretezett indítómotorral rendelkezik. Az elektromotort a belsőégésű motor dugattyúinak mozgásában tartására használja, azokban az időszakokban amikor teljesítmény leadására nincs szükség. Ezzel a módszerrel üzemanyag takarítható, illetve gyorsabb és tisztább motorindítások érhetők el. [18]

A kisrepülőgépen kialakítandó hibrid hajtáslánc az elektromos energia mechanikai munkává alakítása szempontjából lehet:

- **koncentrált vagy központi vég-energiaátalakítás:** ahol a koncentrált hajtások esetén, a hajtásrendszer által termelt mechanikai energia, úgy hasznosul, mint egy hagyományos, pusztán belsőégésű motorra működő járműben. A légsavaras repülőgép motorjából érkező mechanikai energia az áttételházon keresztül, de további rásegítés nélkül, hajtja meg a légsavart vagy légsavarokat. Ilyen hajtásláncot, elsősorban akkor érdemes kialakítani, ha a légsavarok száma alacsony, vagy ha a hibridhajtás párhuzamos jellegű és nem magasan hibridizált;
- **elosztott vég-energiaátalakítás:** azokat a hajtásokat, ahol minden egyes légsavarra jut egy-egy, azt külön is meghajtani képes motor, párhuzamos hibridhajtás esetén külön áttétel is, ahol a teljesítményeket összegződhet. Elosztott energiaátalakítást végző hajtásláncot, elsősorban akkor érdemes kialakítani, ha több légsavart kell táplálni és a meghajtást tisztán-elektromos vagy soros hibridelektromos hajtásrendszerrel biztosítjuk [18][19][20].

A felhasznált erőforrások kapcsolata szerint a hibrid hajtáslánc elrendezése lehet:

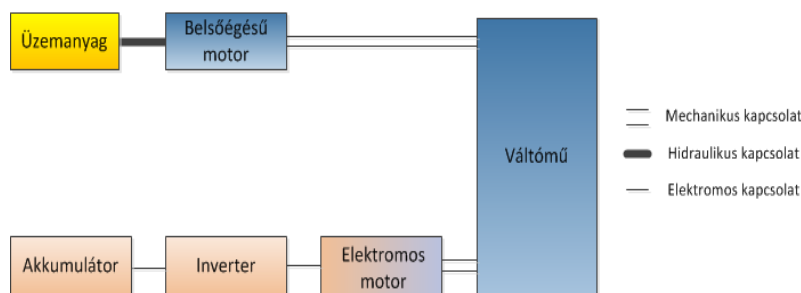
- **soros elrendezés,** ahol a hajtáslánc a 7. ábra szerint épül fel. Tartalmaz egy üzemanyag-tartályt és egy akkumulátort, mint energiatárolót, egy belsőégésű motort, mint a nyugvó energia mechanikussá alakítóját, egy generátort, mint a mechanikus energia elektromossá alakítóját, valamint legalább egy elektromotort, amely a légsavart forgatja. Az előbbi elemeken kívül a motor típusától függően (egyen- vagy váltóáramú) szükség lehet egy inverterre, valamint egyenirányítóra az akkumulátor és a generátor közé. E a rendszerekben nincs mechanikus kapcsolat a belsőégésű motor és az elektromosan táplált eszközök, berendezések, motorok között [21].



7. ábra Soros hibrid-elektromos hajtáslánc [22]

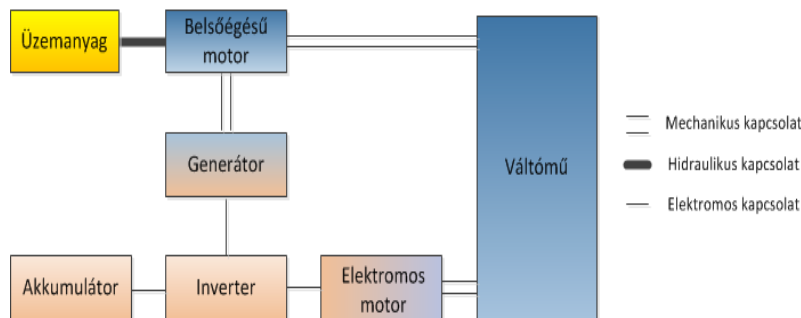
- **tisztán párhuzamos elrendezés** hajtáslánca tartalmaz egy üzemanyag-tartályt és egy akkumulátort, mint energiatárolót, egy belsőégésű motort, mint a nyugvó energia mechanikussá alakítóját, legalább egy elektromotort, valamint az elektromotorok számával

egyező mennyiségű mechanikus teljesítményösszegző áttételt. Az előbbi elemeken kívül a motor típusától függően (egyen- vagy váltóáramú) szükség lehet egy inverterre az akkumulátor és az elektromotor közé. Párhuzamos elrendezések esetén az elsődleges és másodlagos energiahordozókat külön-külön alakítják mechanikai energiává, és üzemmódtól függően együtt vagy külön használhatóak fel. A párhuzamos hibrid rendszerek felépítése függ a hibridizáció mértékétől, azaz a beépített akkumulátor kapacitásától, elektromotor teljesítményétől, és a teljesítményt összegző áttétel jellegétől. A kapcsolásokat (8. ábra) további sajátossága, hogy a belsőégésű motor nem használható villamos energia előállítására, azaz a két hajtásrendszer – a tüzelőanyag alapú és az elektromos – csak a véghajtómű előtt a teljesítmény összegzőben kerül kapcsolatba. Az ilyen elrendezések a soros-hibridhajtásnál tárgyalt üzemmódok közül a motorikus akkumulátor töltésre nem képesek, az összes többire viszont igen, eltekintve a berendezések kapcsolásainak különbségeitől [21].



8. ábra: Tisztán párhuzamos hibrid-elektromos hajtáslánc [22]

→ **komplex-párhuzamos elrendezés** lényegében a soros és a tisztán párhuzamos elrendezés ötvözését jelenti (9. ábra).



9. ábra Komplex-párhuzamos hibrid-elektromos hajtáslánc [22]

Az egyes elrendezési típusok előnyei és hátrányai a 3. táblázat segítségével vehetőek össze.

	Soros elrendezés	Tisztán párhuzamos elrendezés	Komplex-párhuzamos elrendezés
Előny	a belső égésű motor optimális fordulatszám tartományban üzemeltethető	a belsőégésű motor és az elektromotor optimális fordulatszám tartományban üzemeltethető	a belsőégésű motor és az elektromotor optimális fordulatszám tartományban üzemeltethető
	az elrendezés lehet koncentrált és elosztott is	kis veszteség az egyszerű energiaátalakítás miatt	kis veszteség az egyszerű energiaátalakítás miatt
	kevesebb mozgó alkat-rész	kisebb tömeg (nincs generátor)	akkumulátor töltési lehetőség
Hátrány	nagy veszteség a túl sok energiaátalakítás miatt	nincs mód az akkumulátorok töltésére (csak fékenenergia visszatáplálásal)	legbonyolultabb felépítés és nagy tömeg
	motornak a maximális terhelést is ki kell bírni		

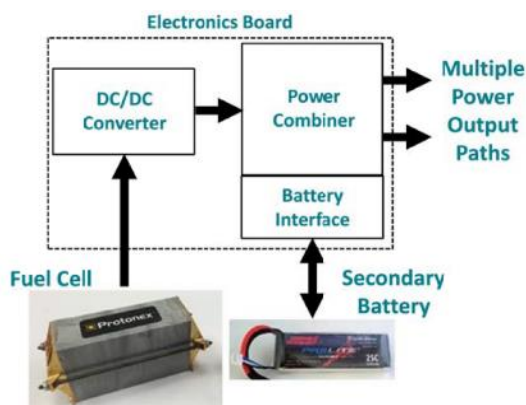
3. táblázat Soros, párhuzamos, és komplex párhuzamos elrendezés előnyei és hátrányai [saját]

HIBRID RENDSZEREK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A REPÜLÉSBEN

A hidrogéncellával ellátott, felhasználás módjának megfelelően megválasztott hajtásláncból felépülő hibrid rendszer tárgyalásakor fontos figyelembe venni, hogy a cellák repülésben hasznosítható potenciáljának vizsgálatakor azok, – a már régebb ismert és széles körben elterjedt, szintén kémiai elven működő – elektromos akkumulátortól lényegesen különböznek.

Habár mindkét energiaforrás felépítése hasonló (elektrolitba merülő anód és katód páros) és egyformán egyenáram előállítására szolgálnak, ahol a kimeneti feszültség és teljesítmény növelésének egyetlen módja további telepegyeségek sorba kötése, lényegi különbség azonban, hogy míg az akkumulátor tárolja az energiát és kimerülése esetén újra kell tölteni, addig a hidrogéncella újratöltés és energiatárolás nélküli folyamatosan üzemel egészen addig, ameddig a tüzelőanyag (hidrogén) és oxidálószer (oxigén) ellátása biztosított. Ezek egymástól szét vannak választva a hidrogéncellában, amely megoldás magasabb fokú biztonságot képvisel az akkumulátoroknál. További lényegi eltérést közöttük az üzemidő (és teljesítmény) kiterjesztése, ami akkumulátorok esetében egyet jelent a telepegyeségek számának és a rendszer tömegének növelésével. Hidrogéncellás rendszerrel csak a tüzelőanyag-tároló (tank) méretét kell növelni, ami összenyomható gázok esetén közel azonos rendszertömeget biztosít.

Általánosságban elmondható, hogy az akkumulátorok energiasűrűsége jobb, mint a hidrogéncelláké, viszont a hidrogéncellák tartósabb működésre képesek, ami hosszabb repülési időnél lehet meghatározó szempont. Vagyis a cellák képesek egy állandó energiaszint folyamatos leadására, de a hirtelen változó, különböző teljesítményigének (felszállás és leszállás) kiszolgálására inkább az akkumulátorok alkalmasabbak. A két energiaforrás kombinálásával egy olyan hibrid rendszer hozható létre, melynek felépítése nem válik túl bonyolulttá és jó hatásfokkal képes üzemelni [23]. (10. ábra)

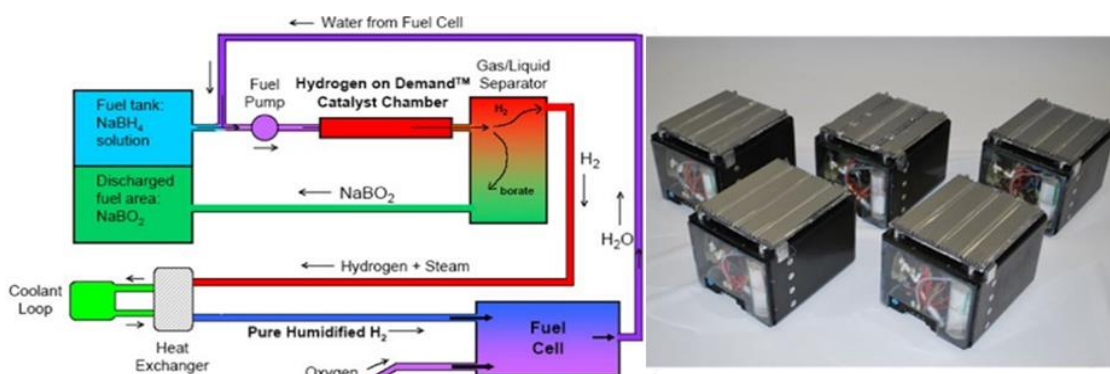


10. ábra Hidrogéncellából és akkumulátorból álló hibrid energiaforrás [23]

A cella működéséhez szükséges hidrogén fedélzeti előállításának és tárolásának lehetőségei:

- hidrogén előállítása egy nagy központi termelőegységgel, ahonnan a felhasználás helyére szállítódik vagy tárolódik a felhasználásig (sok helyet igényel);
- hidrogén előállítása kisebb, elosztott egységekben közel a felhasználás helyéhez (bonyolult struktúrát eredményez);
- sűrített hidrogén gáz tárolása a fedélzeten 350–700 bar túlnyomású szénszálakompozit tartály(ok)ban (sok helyet igényel, veszélyes);

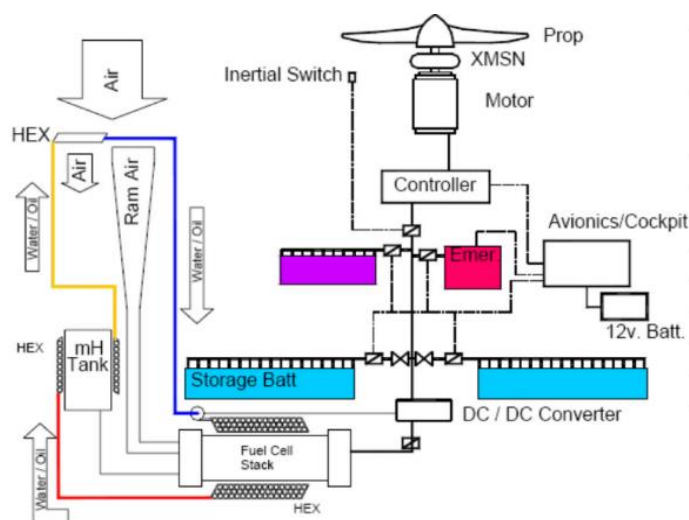
- folyékony hidrogén tárolása a fedélzeten speciális anyagok és körülmények között (hűtés $t < -253\text{ °C}$) az idő előtti elpárolgás megakadályozására (nehéz kivitelezni, veszélyes);
- legegyszerűbb megoldás a kémiai hidrid patronokban (pl.: nátrium-bórhidrid) való tárolása: A nátrium-hidrid egy nem gyúlékony, vizes alapú oldatban tárolódik és amennyiben hidrogénre van szükség, a folyadékot katalizátor ágyon át szivattyúzva hidrogén szabadul fel belőle. A rendszer alacsony nyomáson működik, nincs szükség hidrogén tároló tartályra és 3–5 másodpercen belül szolgáltat környezetbarát tüzelőanyagot a cella számára. A patronból, hidrogéncellából, katalizátorból és hőcserélőből álló zárt energiaforrás-rendszer vázlatát és a patronokat mutatja be a 11. ábra, ahol a cellával termelt vizet visszavezetik a bór-hidrid oldathoz [23].



11. ábra Nátrium-bórhidrid patronos energiaforrás vázlata (balra) és a patronok (jobbra) [23]

Pilóta nélküli repülőgépek, drónok (UAV)

A kis méretű, légsavarral ellátott, pilóta nélküli repülőeszközök hajtására, legkedvezőbb az akkumulátorokkal termelt elektromos energia. Ez lehetővé teszi a rotorok differenciált fordulatszám szabályozást is. Az akkumulátor hidrogéncellával történő kiegészítése egy olyan hibrid hajtásrendszert eredményez, ahol az energia menedzsment elektronika figyeli az akkumulátor töltöttségi szintjét és a cella kimenetét, valamint optimalizál és beavatkozik az éppen aktuális teher súlyának és a repülési követelmények figyelembe vételével. Ha nagy teljesítmény-leadására van szükség (felszállás, emelkedés, manőverek), akkor a hajtást mind a cella, mind az akkumulátor támogatja.



12. ábra Hibridhajtású UAV rotor vázlata [24]

Amennyiben kisebb teljesítmény is elegendő (vízszintes repülés, süllyedés), a cella által termelt energia egy része előbb újratölti a használaton kívüli akkumulátort, majd annak töltöttségét elérve a teljes leadott cellaenergia az eszköz hajtására fordítódik. Egy ilyen összetett rotorhajtás-rendszer vázlatát látható a 12. ábrán a szükséges elemekkel [23][24].

Kisméretű és könnyű repülőgépek

A jövőbeni legnagyobb áttörés a hibridhajtás területén ebben a repülőgép kategóriában várható, mivel a méretek és tömegek még kellően kicsik ahhoz, hogy hidrogéncellák és tömegkönnyített elektromos akkumulátorok együttes alkalmazásával közvetlenül meghajtott légcsavarak a levegőben tartsanak egy, már létező, hagyományos motorú kisrepülőgép sárkányát.

A továbbiakban a cella alkalmazási lehetőségeinek ismertetése koncepcionális és megvalósított példákon keresztül történik.

Az Airbus elsőként tesztelt hidrogéncellás rendszerét repülés közben, egy kisméretű, pilótával ellátott polgári repülőgépen 2008 februárjában. Ennél a cellarendszer biztosította a repülőgép tartalék hidraulika szivattyújának és hidraulika körének, valamint elektromos rendszerének energiaellátását és a csűrők mozgatását. Tesztrepülés alatt 20 kW teljesítményt és közel 10 liter tiszta vizet termelt [25].

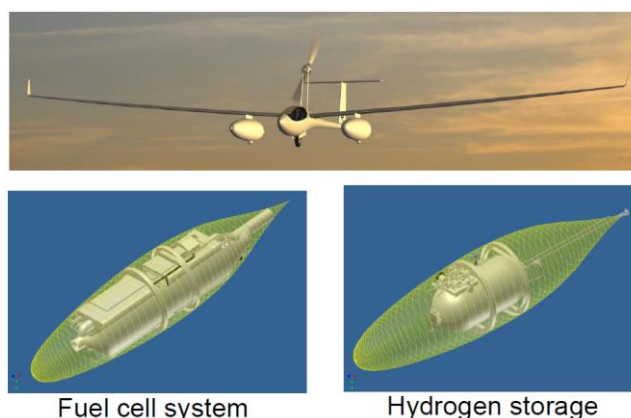
A következő, ugyanez év májusban, a Boeing Research & Technology Europe által áttervezett kétszemélyes, Diamond által gyártott HK36 Super Dimona típusú motoros vitorlázó gép hibrid hajtásrendszerrel ellátott változatának, a Boeing Fuel Cell Demonstrator megalkotása volt. A konstrukcióban (13. ábra) egy hagyományos légcsvár meghajtását PEMFC típusú hidrogén-cella köteg és egy tömegkönnyített Li-ion akkumulátor végezi.



13. ábra Boeing Fuel Cell Demonstrator Dimona [25]

A 20 kW teljesítmény leadására képes cellák gáz halmazállapotú tüzelőanyaggal történő ellátása az ülés mögött elhelyezett 350 bar túlnyomású hidrogéntartály biztosította. A keletkezett vizet külön tárolják. A tesztrepülések alatt felszállásnál és emelkedésnél a cellák és az akkumulátorok együttes használatára volt szükség, de az 1000 méteres tengerszint feletti magasság

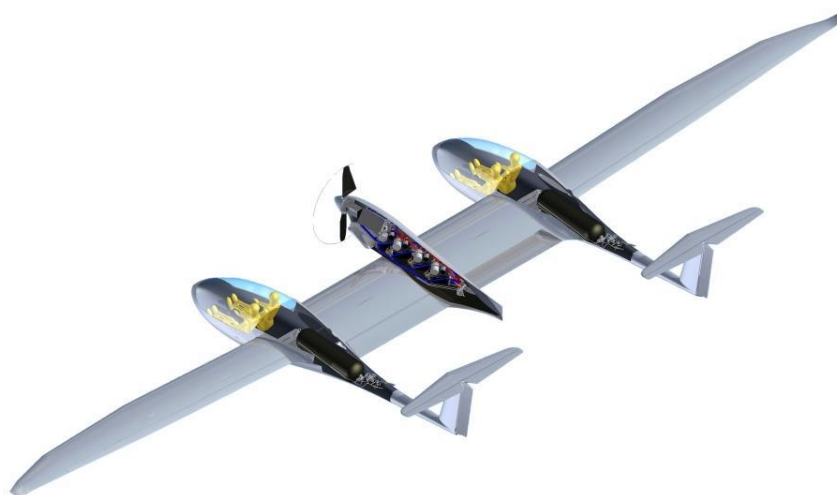
elérése utáni utazórepülésben az akkumulátor lekapcsolódott és a repülőgép kizárólag a cellák által termelt energiával repült 20 percet 100 km/h sebességgel [25].



14. ábra Antares DLR H2 – Gen 2 [26]

A Német Légügyi Központ Mérnöki Termodinamika Intézete a 2015-ös tokiói konferencián mutatta be eredményeit és terveit egy Antares DLR H2 – Gen 2 nevű, zéró emissziós kibocsátásra képes, hidrogéncellával működő egyszemélyes hibrid repülőgépről (14. ábra). Ezt, egy vitorlázógép átépítésével, azt légcsavarral és hidrogéncellás hibridegységekkel kiegészítve alkották meg. Az 55 kW teljesítmény előállítására is képes, hűtéssel ellátott moduláris cellarendszert a hidrogéntároló tartállyal együtt a szárnyak alatti áramvonalazott gondolában helyezték el, és a pilótafülke mögötti légcsvár hajtásához termeli a szükséges energiát. Hatásfoka az 52%-ot is eléri [26].

2016-ban a Pipistrel kisrepülőgép gyártó, a Hydrogenics tüzelőanyag specialista, az Ulmi Egyetem és a Német Légügyi Központ HY4 nevű első olyan hidrogéncellával és akkumulátorral hajtott hibrid konstrukcióját mutatta be (15. ábra), amely már 4 személyt is képes szállítani kizárólag a cellák által termelt energiával, a 165 km/h repülési sebességet is elérve, 1500 km-es hatótávolsággal. A le- és felszálláshoz akkumulátorok szolgáltatnak kiegészítő energiát. A jármű légcsavarral felszerelve, két vitorlázó repülőgép összeépítéséből jött létre. A hidrogéncellák 42 kW teljesítmény előállítására képesek [27].



15. ábra HY4 többszemélyes hibridhajtású repülőgép modellje [28]

Az Airbus egy további sajátos megoldására jó példa a 2016 nyarán bemutatott E-Fan Plus hibridhajtású kisrepülőgép (16. ábra).



16. ábra Airbus E-Fan Plus hibridgépe (balra) és elektromos hajtóművének metszete (jobbra) [29]

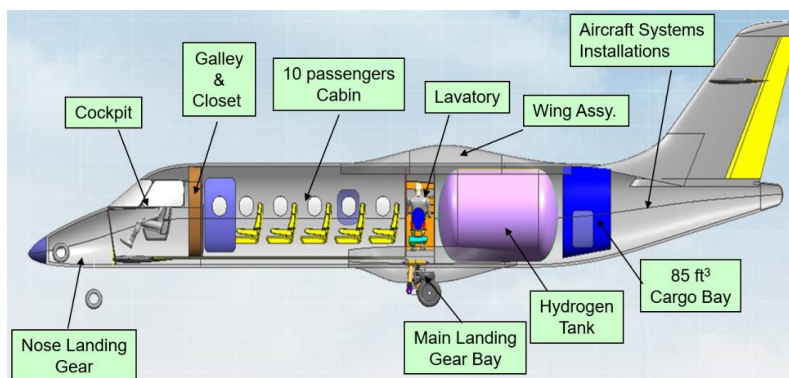
E konstrukciónál az elektromos hajtómű ventilátorainak hajtására három lehetőség kínálkozik:

- Li-ion akkumulátorokkal;
- PEMFC hidrogéncellákkal;
- belsőégésű motorral;

A 60 kW teljesítmény előállítására képes hidrogéncellákat és az akkumulátorokat az elektromos hajtómű burkolatának falai közé építették, a belsejébe rögzített, ventilátortartó elem köré, amik a fokozatok állórészein elhelyezett elektromos tekercseket táplálják. A forgórészek mágneseket tartalmaznak és áram hatására forgásba kezdenek az elektromotor elvén. A belsőégésű motor a hatótávolság növelését szolgálja [29].

Középkategóriájú repülőgépek

E méret- és tömegkategória jelenti napjainkban a hibridhajtás határát, ahol több légszárító együttes alkalmazásával a hidrogéncelláról táplált elektromotorok még képesek levegőbe emelni a járművet. A cella működéséhez szükséges, nagy mennyiségű sűrített gáz vagy folyékony hidrogén tárolót a fedélzeten kell kialakítani, a hasznos teherter és szállítható tömeg rovására. Egy több légszárító koncepció példát mutat be a 17. és 18. ábra a rendszer összes szükséges elemét feltüntetve, kizárólag hidrogéncellás energiatermelésre alapozva.

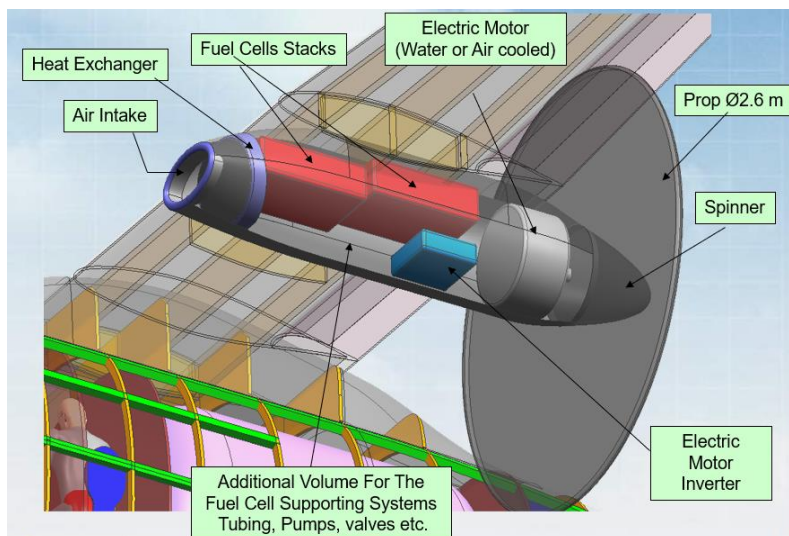


17. ábra Több légszárító, hibridhajtású regionális repülőgép hosszmetzete [30]

A hagyományos gázturbinás légszárító utasszállító géppel összehasonlítva az alábbi következtetések vonhatók le:

- a hibridhajtással a károsanyag kibocsátás, valamint a zaj jelentősen csökkenthető, akár meg is szüntethető és sokkal könnyebb, gyorsan a hajtóművek indítása (nincs szükség indítógenerátorra, warm-upra, valamint égéstér hiányában nem szükséges a hajtóművek leállítás előtti hűtő-járatása sem);

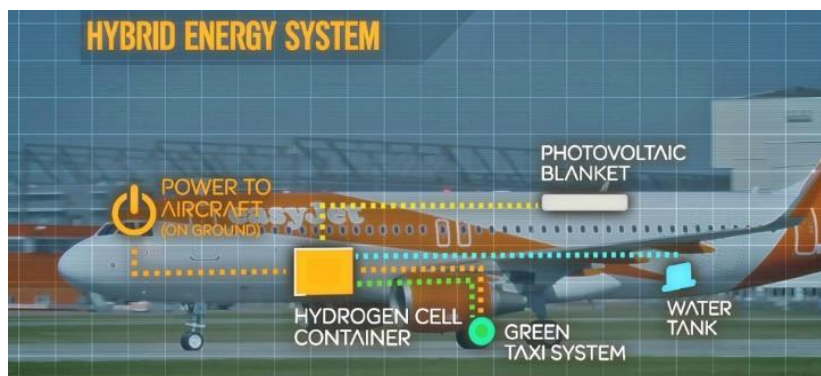
- egy nagyságrenddel kisebb teljesítménysűrűséggel, kisebb utazási sebességgel és hatótávval, valamint alacsonyabb szolgálati csúcsmagassággal lehet számolni. [30]



18. ábra Többlégsavaras regionális hibridhajtású repülőgép hajtóműve [30]

4.4. Nagyméretű repülőgépek (kitekintés)

A következőkben - e cikk címében meghatározott témamegjelölésén túlmutatva - célszerű röviden áttekinteni a hidrogéncellák alkalmazási lehetőségeit korszerű teher- és utasszállító repülőgépek esetében. E légi-járművek meghajtásának energia- és teljesítményigénye nagyságrendekkel meghaladja, az előző fejezetekben tárgyalt kisebb szállító kapacitású konstrukciókét. A hidrogénből – annak kerozinénál még kriogén állapotban is jelentősen alacsonyabb sűrűsége (1/11) miatt – sokkal nagyobb térfogatot kell a fedélzeten tárolni, amire jelenleg még nincs kidolgozott megoldás. A hidrogéncellás hibrid hajtásrendszer e repülőgép kategóriánál még nem alkalmazható. Ellenben patronos és köteges kialakításban többféle egyen- vagy váltóárammal működő alrendszer energiaellátásban is számításba vehető (pl. hajtóműindítás és vízbefecskendezés, hajtóművezérlő elektronika, légkondicionálás, jégtelenítés, tűzbiztonság, elektromos kerékajátás, vészhelyzeti áramforrás). A „Még elektromosabb repülőgép” (More-Electric-Aircraft) koncepció keretein belül az a cél, hogy a repülőgép különböző energiabázisú segédenergia rendszerei (hidraulika, pneumatika) könnyebben kezelhetővé és magasabb hatásfokúvá váljanak, azok elektromossá alakításával. E fejlesztési törekvések megvalósításában nyújt segítséget a hidrogéncellás hibrid rendszerek alkalmazása [31][32].

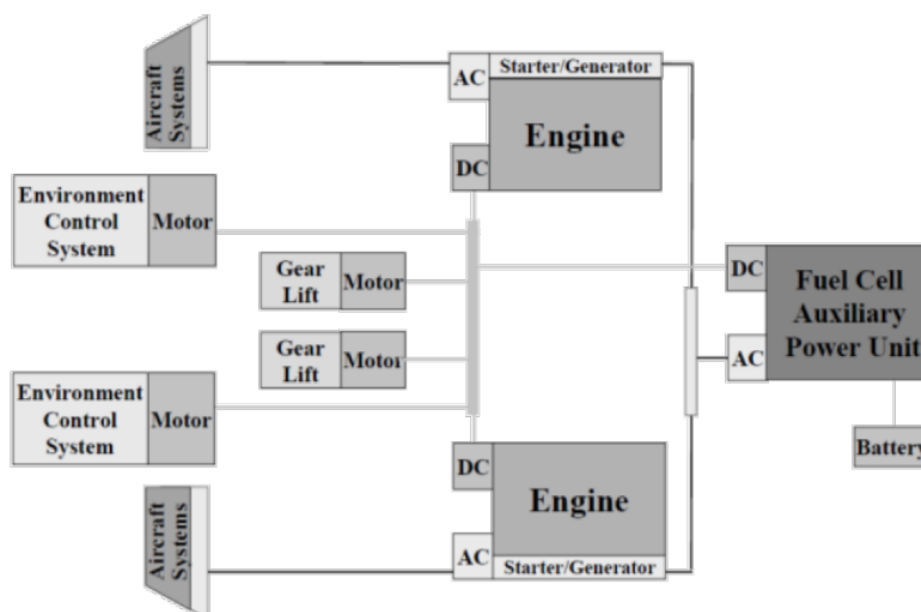


19. ábra Easyjet csendes és zöld gurulás koncepciója hibrid rendszerrel [33]

Az Easyjet 2016 februárjában mutatta be egy olyan hibrid repülőgép tervét (19. ábra), melyben a fedélzetre telepített hidrogéncella-akkumulátor-egység képes ellátni a repülőgép elektromos alrendszerét és energiát szolgáltat a kerékhajtáshoz is a földi guruláskor. A leszállás után fékezéskor a futómű elektromotorjai generátor üzemmódon energiát táplálnak vissza az akkumulátorokban. Guruláskor a kerekek hajtása az akkumulátorok energiájának felhasználásával valósul meg, míg a lemerült akkumulátorok feltöltését a hidrogéncellák végzik. Repülés közben a törzs felső részén lévő foto-elektromos bevonat segítségével töltik az akkumulátorokat. A megoldás lehetővé teszi a hajtóműhasználat nélküli csendes és zöld gurulást, valamint évi ~50000 tonna üzemanyag megtakarítását a légitársaságnak. A pilóták elektromos a guruláskor – melynek melléktermékként a mosdó rendszerében hasznosuló tiszta víz keletkezik – a fékezésen kívül a sebességet és irányt is nagy pontossággal vezérelhetik [33][34].

A hidrogéncellák egy másik alkalmazási lehetősége a légárammal hajtott turbina (Ram Air Turbine) helyettesítése. Az említett vészhelyzeti berendezés a hajtóművek leállásakor termel annyi elektromos energiát, amely a kormánylapokat mozgató munkahengerek működtetéséhez szükséges - egyébként hajtómű(vek)ről meghajtott - hidraulika szivattyúk működését korlátozottan pótolni képes. E kényszersüllyedési viszonyoktól függő, alacsony működési hatékonyságú turbina jól kiváltható hidrogéncellás energiatermeléssel [35].

További jelentős előrelépés érhető el, a fedélzeti segédhajtómű (Auxiliary Power Unit) PEMFC vagy SOFC típusú hidrogéncellás hibrid rendszerrel történő lecserélésével. A törzs végében található kisméretű gázturbina feladata összetett. Egyrészt elektromos energiát, sűrített levegőt és hidraulika nyomást állít elő a repülőgép többi alrendszere (fedélzeti műszerek, légkondicionálás, jégtelenítő stb.) számára földön tartózkodás közben. Másrészről a főhajtóművek indítógenerátorait hajtja meg. A segédhajtómű igen alacsony, 20%-os hatásfokkal működik (részterheléssel ~10%-ra csökken) és üzemanyag-fogyasztási karakterisztikája is kedvezőtlen, továbbá jelentősen hozzájárul a magas repülőtéri NOx, és CO kibocsátáshoz, valamint a zajhoz [35].



20. ábra Hibrid repülőgép energiaellátó rendszerének vázlata [35]

A repülőgépek főhajtóműveit úgy alakítják ki, hogy ne csak a hajtáshoz szükséges energiát, de a pneumatikus, hidraulikus és elektromos alrendszerek energiaigényét is kielégítsék a generátorok,

szivattyúk, kompresszorok segítségével. Fedélzeti hidrogéncella-akkumulátor hibrid rendszer alkalmazásával a hajtóművek mentesíthetők a többlet energiatermelés alól, ami jelentős hajtómű méret- és tömegcsökkenést eredményezne. Egy ilyen energiaellátó hibrid rendszer vázlatát szemlélteti a 20. ábra, ahol minden egyen- vagy váltóáram-igénnyel bíró rendszer táplálása (beleértve az elektromos kerékhajtást is) megoldott a fedélzeti hidrogéncellás energiaforrással [36].

ÖSSZEFOGLALÁS

Világunk fokozódó gazdasági és technológiai versenyében a közlekedés, azon belül is a repülés kiemelkedő jelentőséggel bír. A légit forgalom rohamos növekedésével párhuzamosan egyre nagyobb hangsúlyt kell fektetni a fenntartható fejlődésre, melynek alappillére a véges kőolajkészletektől való függetlenedés, alternatív megújuló energiaforrások keresése.

A hidrogéncellák is lehetséges alternatívaivá váltak az egyre fokozódó energiaigények kielégítését szolgáló hagyományos, korlátozott utánpótlással bíró energiaforrásoknak. A működésük alapanyagaként szolgáló hidrogén számos kedvező környezeti, kémiai és energetikai tulajdonságának köszönhetően széleskörű felhasználás elé néz a repülőiparban. A hidrogéncellák hagyományos elektromos akkumulátorokkal kombinálva egy olyan hibridrendszer kialakítását teszi lehetővé, amely nemcsak támogatni, de helyettesíteni, a jövőben akár túlszárnyalni is képes lesz a jelenleg alkalmazott fedélzeti energiaforrásokat és hajtásrendszert. Drónok és légcsavaros kisrepülőgépek hajtásban alkalmazhatóságuk már bizonyított, de eredményesen használhatóak nagyméretű repülőgépek fedélzeti alrendszerinek támogatásában is. Az anyagtudomány és a technika töretlen fejlődése mellett belátható időn belül és egyre gyakrabban jelennek majd meg olyan innovatív megoldások, melyek mind közelebb viszik az emberiséget a zero emissziójú repülés megvalósításához.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Boeing Company, Current Market Outlook 2016-2035, (online), url: http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/about-our-market/assets/downloads/cmo_print_2016_final_updated.pdf
- [2] Fehér Krisztina, Óvári Gyula: Alternatív tüzelőanyagok alkalmazásának realitása a repülésben, a XXI. század első felében REPÜLÉSTUDOMÁNYI SZEMELVÉNYEK 2017. NKE pp. 113-157. <http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2017.pdf> ISBN 978-615-5764-80-6
- [3] <http://aviation.stackexchange.com/questions/10060/where-i-can-get-historical-jet-fuels-prices>
- [4] FAA Aerospace Forecast, Fiscal Years 2016-2036, (online), url: https://www.faa.gov/data_research/aviation/aerospace_forecasts/media/FY2016-36_FAA_Aerospace_Forecast.pdf
- [5] http://rblst.info/wiki/fenntarthato_kozlekedes:tuzeloanyagcellak
- [6] Thiele Ádám, A tüzelőanyag-cella működése, felépítése, jellemzői, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar, Járműgyártás és Javítás Tanszék, 2008, (online), url: <http://docplayer.hu/4048570-A-tuzeloanyag-cella-mukodese-felepitese-jellemzoi.html>
- [7] <http://www.panenerg.hu/biouzemanyag/hogyan-mukodik-a-hidrogen-es-tuzeloanyag-cellas-technologia>
- [8] <http://docplayer.hu/docs-images/59/43765782/images/6-0.png>
- [9] [http://energia.bme.hu/~kaszas/Energetika%20\(menedzsereknek\)/besz%C3%A1m%C3%B3k/%C3%9Czemanyagcella.pptx](http://energia.bme.hu/~kaszas/Energetika%20(menedzsereknek)/besz%C3%A1m%C3%B3k/%C3%9Czemanyagcella.pptx)
- [10] Antal Béla, Dollák Csaba, Kazai Imre, Tüzelőanyag cella, BMF KKV VEI, Mérési útmutató, 2006, (online), url: http://ekh.kvk.uni-obuda.hu/downloads/utmutato/tuzeloanyagcella/Meresi_utmutato_tuzeloanyag_cell.pdf
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell
- [12] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_fuel_cell_manufacturers
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Fuel_cell_manufacturers
- [14] https://www.youtube.com/watch?v=KhrcHO_qw80

- [15] <http://web.archive.org/web/20131211134650/http://www.fuelcell.co.uk/fuel-cell-costs/>
- [16] <https://cleantechnica.com/2014/12/01/fuel-cell-economics-vs-batteries/>
- [17] Mehrdad Ehsani, Fei-Yue Wang and Gary L. Brosch: Transportation Technologies for Sustainability, Encyclopedia of Sustainability Science and Technology (ESST), Springer, New York, 2012
- [18] Momoh, O.D. and M.O. Omoigui. An overview of hybrid electric vehicle technology. in 2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. 2009.
- [19] Chen, K., et al., Global modeling of different vehicles. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2009. 4(2): p. 80-89.
- [20] Chan, C.C., The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles. Proceedings of the IEEE, 2001. 90(2): pp. 247-275.
- [21] Bereczky, Á. and Z. Varga, Hibrid-, hibrid-elektromos járművek, hajtásrendszerek architektúrája, szabályozása, menedzsmentje és energiaforrások, in Motor és erőátviteli rendszerek mechatronikája, B. MOGI, Editor. 2014, BME MOGI: Budapest
- [22] Kozár, A., Nagy hatótávolságú elektromos és hibrid-elektromos VTOL multirotor UAV megvalósíthatósági vizsgálata, in DAS. 2017, BME: Budapest. p. 102.
- [23] Paul Osenar, Jim Sisco, Catharine Reid: Advanced Propulsion for Small Unmanned Aerial Vehicles, Protonex Technology Corporation, 2017, (online), url: <http://www.unmannedsystemstechnology.com/wp-content/uploads/2017/02/White-Paper-Fuel-Cell-Energy-Systems-for-UAVs.pdf>
- [24] Fuel Cells and Other Emerging Manportable Power Technologies for the NATO Warfighter, Part II: Power Sources for Unmanned Applications, STO Technica Report, STO/NATO, 2014, (online), url: [https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/STO-TR-SET-173-Part-II/\\$\\$STR-SET-173-Part-II-ALL.pdf](https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/STO-TR-SET-173-Part-II/$$STR-SET-173-Part-II-ALL.pdf)
- [25] Albert Jordà i Juanós, Robert Parry: Future Propulsion Systems, Alternative Fuels, Final Year Project Report, School of Science & Technology Engineering, 2008, (online), url: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5326/memoria.pdf?sequence=1>
- [26] Josef. Kallo: Will fuel cells change the aviation?, Conference presentation, German Aerospace Center, Institute of Engineering Thermodynamics, Tokyo, 2015
- [27] <https://phys.org/news/2016-09-world-seater-fuel-cell-plane-germany.html>
- [28] <https://www.flugrevue.de/sixcms/media.php/11/thumbnails/fr%2002-2016%20HY4%20Brennstoffzellen-antrieb%20%2802%29.jpg.7828296.jpg>
- [29] <http://company.airbus.com/responsibility/airbus-e-fan-the-future-of-electric-aircraft/technology-tutorial.html>
- [30] Z. Shavit: Fuel Cell Propulsion Analysis of All-Electric Airplanes and the ENFICA-FC Project Status, Conference presentation, Israel Aerospace Industries, Engineering Division, Ben-Gurion Airport, Advanced Energy Resources Conference – IFCBC #6, Tel-Aviv, 2010, (online), url: <http://slideplayer.com/slide/4306494/>
- [31] https://www.safran-electrical-power.com/media/20150408_more-electric-aircraft-power-future
- [32] Óvári Gyula: Gázok és villamosság, mint lehetséges repülőgép-üzemanyagok I.-III. HADITECHNIKA 2014/2. pp. 5-10.;2014/3. pp. 5-10; 2014/4. pp. 2-6 HU ISSN: 0230-6891
- [33] <https://www.engadget.com/2016/02/02/easyjet-hydrogen-fuel-cell-concept/>
- [34] Kavas L., Óvári Gy., R. Fehér K: A gazdaságos és környezetkímélő repülés feltételei megteremtésének lehetőségei a repülőtereken Repüléstudományi közlemények 2015/1 p. 7-17. url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_1/2015-1-01-0216-Kavas_L-Ovari_Gy-Rne_Feher_K.pdf
- [35] K. A. Friedrich, J. Kallo, J. Schirmer, G. Schmitthals: Fuel Cell Systems for Aircraft Application, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Technische, Thermodynamik, Stuttgart, 2009, (online), url: https://www.researchgate.net/publication/225022234_Fuel_Cells_For_Aircraft_Applications
- [36] K. M. Spencer, C. A. Martin: Investigation of Potential Fuel Cell Use in Aircraft, Institute for Defense Analyses, 2013, (online), url: https://www.ida.org/idamedia/Corporate/Files/Publications/IDA_Documents/SED/2014/D-5043.pdf

INVESTIGATION OF POTENTIAL FUEL CELL USE IN HYBRID DRIVEN SMALL AIRPLANES

Aviation industry is a driving force and an excellent indicator of development level of a country, region or market. It can clearly reflect the economic raising of a given region. In order to satisfy the increasing demand for fuel, continuous supply is needed, which is found to be difficult in many aspects. In short term, complementary alternative fuels will be set in the first place, however, the withdrawal of fossils fuels from the world market must be taken also into account in long term relations. This deficit can be solved by the application of alternative fuels. One option is the use of hydrogen cells or fuel cells. The fuel cell is actually a continuous electrochemical galvanic battery, that can convert the chemical energy of its fuel directly to electric energy. Present paper intends to introduce hydrogen cells and provide an insight into their construction and operation. The potential of fuel cell use, with special regard to hybrid driven small aircrafts at conceptual level, will be discussed in the second half of the article.

Keywords: electric motor, fuel cell, hybrid drive, more-electric-aircraft, small airplane

Venczel Márk (BSc) MSc. hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszék venczelm91@gmail.com orcid.org/0000-0002-4319-1463	Venczel Márk (BSc) MSc. Student Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics Naval Architecture and Railway Vehicles venczelm91@gmail.com orcid.org/0000-0002-4319-1463
Bicsák György (MSc) tanársegéd Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszék gybicsak@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-3427-3918	Bicsák György (MSc) Assistant lecturer Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics Naval Architecture and Railway Vehicles gybicsak@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-3427-3918
Dr. Rohács Dániel (PhD) egyetemi docens Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszék drohacs@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417	Rohács Dániel (PhD) Associate Professor Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics Naval Architecture and Railway Vehicles drohacs@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417
Dr. Rohács József (CSc) egyetemi tanár Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszék jrohacs@vrht.bme.hu https://orcid.org/0000-0002-4607-9063	Rohács József (CSc) Professor Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics Naval Architecture and Railway Vehicles jrohacs@vrht.bme.hu https://orcid.org/0000-0002-4607-9063

Az EFOP-3.6.1-16-2016-00014 “Diszruptív technológiák kutatás-fejlesztése az e-mobility területén és integrálásuk a mérnökképzésbe” támogatásával valósult meg



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-20-0425_Venczel_Mark_et_al.pdf

Sipos Attila

A POLGÁRI LÉGI JÁRMŰ JOGI STÁTUSZA

A légi jármű jogi státusza kiemelkedő jelentőséggel bír. A légi jármű ahhoz az államhoz tartozik, amelynek lajstromába be van jegyezve. A légi jármű fedélzetén elkövetett cselekmények tekintetében a lajstromozó államnak joghatósága van. A polgári és állami légi járművek elhatárolása azért lényeges, mert a Chicagói Egyezmény (1944) kizárólag a polgári légi járművekre alkalmazható, míg az állami légi járművekre nem. A repülésben lévő polgári légi jármű ellen fegyvert használni tilos. A nemzetközi jog ugyanakkor biztosítja az Egyesült Nemzetek valamelyik tagja ellen irányuló fegyveres támadás esetében az egyéni vagy kollektív önvédelem természetes jogát.

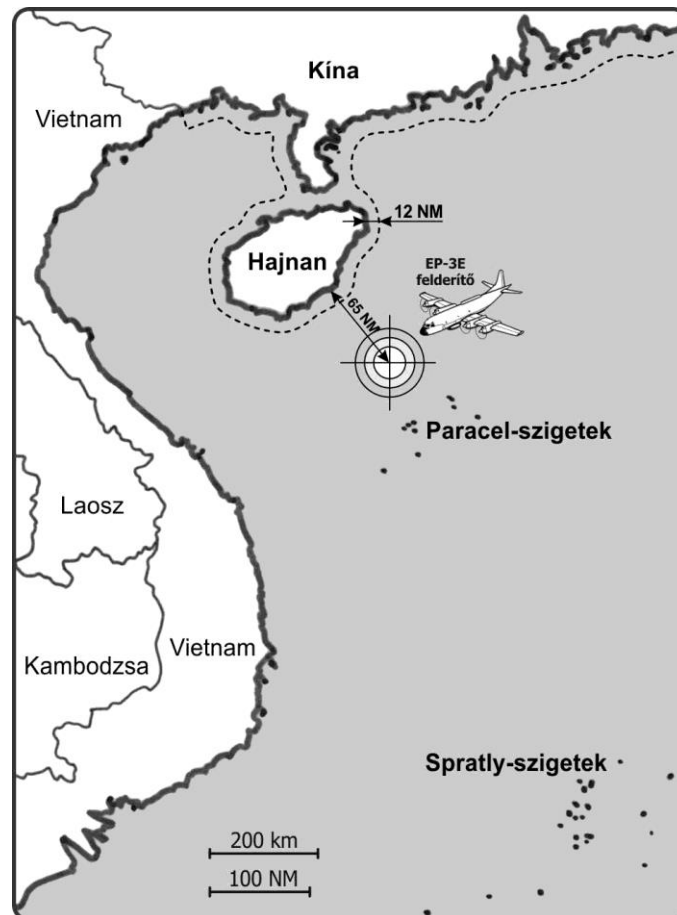
Kulcsszavak: polgári és állami légi jármű, pilóta nélküli légi jármű, légi jármű honossága, repülésben lévő polgári légi jármű elleni fegyverhasználat és tiltása

BEVEZETŐ

A Chicagói Egyezményt 1944. december 7-én a háború lezárása előtt 52 ország alkotta meg. A Chicagói Egyezmény fő célja a nemzetközi polgári repülés kereteinek, annak technikai és szabályozási feltételrendszerének megalkotása és a békének a repülés adta eszközökkel történő megteremtése volt. A Chicagói Egyezmény legfontosabb rendelkezései közül kiemelkedik a nemzeti légtérben az állam teljes és kizárólagos szuverenitásának kimondása, a nem menetrendszerű és menetrendszerű légi járatok jogainak meghatározása, valamint a polgári és állami légi járművek elhatárolása. Bár a polgári és állami légi járművek elhatárolása a Chicagói Egyezményben csak példálózó jelleggel történt meg, és a légi járművek fogalmával is adós maradt a jogalkotó, mégis a polgári és állami légi járművekről szóló 3. cikk kiemelten fontos szabálya lett a nemzetközi légi közlekedésnek. Később a jogalkotó a légi jármű fogalmát a Chicagói Egyezmény Függelékében megfogalmazta és a részletes szabályozás kidolgozásával, annak a nemzeti jogban történő beépítés kötelezettségével tiszta viszonyokat teremtett a polgári légi járművek jogi megítélésére vonatkozásában. A tanulmány célja, hogy a polgári légi járművek jogi helyzetét felvázolja, és gyakorlati szempontból bemutassa.

A katonai körökben jól ismert Hajnan-sziget melletti katonai incidens számos a nemzetközi jogot érintő kérdést vetett fel. Ilyen a jelen tanulmány vizsgálódási körébe tartozó az ún. kvázi repülő államterület jogi sorsa vagy a polgári és állami légi járművek közötti elhatárolás jogi következménye. 2001. április elsején az amerikai haditengerészet Lockheed EP-3E (Aries II) típusú elektronikai felderítő repülőgépe egy kínai gyártmányú Shenyang J-8II típusú elfogó vadászgéppel összeütközött, amelynek következtében a kínai pilóta a géppel a tengerbe zuhant és életét veszítette. A súlyos baleset azért következhetett be, mert a kínai vadászpilóta a felderítő repülőgépet sajátosan értelmezett elfogással, „elzavarással”, veszélyesen, ún. Top Gun stílusban (3 méteren belül, egy szelet papíron még az e-mail címét is felmutatva) megközelítette. A nehezen manőverezhető, fegyver nélküli felderítőgép összeakadt a kínai pilóta vadászgéppel, amely lezuhant, míg a négy hajtóműves amerikai katonai gép a kínai Hajnan-sziget repülőterén

kényszerleszállást hajtott végre. Az eset Hajnan szigetétől délre, a partvonalától számított 65 tengeri mérföldre, azaz nemzetközi légtérben történt [1].



1. ábra Hajnan-sziget melletti katonai incidens (2001)

A kínai kormány diplomáciai jegyzékében rögtön a kínai légtérbe engedély nélkül történő behatolásra hivatkozott, és két jogalapot is talált arra, hogy az amerikai katonai repülőgép megsértette Kína területi szuverenitását.

- ➔ Kína kormánya indokolásában kijelentette, hogy a Dél-kínai-tengerben található Spratly- és Paracel-szigeteket magáénak tekinti, így ezektől a szigetektől kell mérni a 12 tengeri mérföldes határt, azaz az amerikai katonai repülőgép nemzeti légtérben haladt. Az említett szigetek jogi sorsa azonban kétséges, mert a többnyire lakatlan, de a kiaknázható ásványkincsekkel és gazdag halállománnyal rendelkező szigetek feletti ellenőrzés jogáról hosszú idő óta több térségbeli állam (Tajvan, Vietnam, Fülöp-szigetek és Malajzia) vitában áll, így Kína hivatalosan nem tudta érvényesíteni a területi felségjogát [2];
- ➔ Kína kormánya indokolásában kiemelte, hogy a nemzeti légtér feletti ellenőrzés jogát beleszámítja a Tengerjogi Egyezmény (1982) által, az állam tengeri területének számító, a szárazföldről számított 200 tengeri mérföldes körzetben található kizárólagos gazdasági övezetbe.

A kínai kormány azonban az incidens előtt nem tett kinyilatkoztatást a Légvédelmi Azonosítási Zónájának (ADIZ) egyoldalú kialakításáról, erre egészen 2013-ig kellett várni. Így a kínai ADIZ-zóna [3] hiányában maradt a Tengerjogi Egyezmény értelmezése, amely szerint a kizárólagos gazdasági övezetben az altalaj természeti kincseinek a kiaknázása és a halászat joga

illeti meg a parti államot, de a légtér feletti uralom nem. Ez a 200 tengeri mérföld hosszú övezet 12 tengeri mérföld állami területnek minősülő parti tengerből, és 188 tengeri mérföld nem állami területnek minősülő tengerből áll, amely utóbbi felett (mivel a légtér nemzetközi) mindenki szabadon átrepülhet. Érdemes itt megjegyezni, hogy az Egyesült Államok – bár az egyik legnagyobb tengeri hatalom – nem részese a Tengerjogi Egyezménynek, csak annyi kötelezettséget vállalt, hogy annak előírásait a nemzetközi szokásjoghhoz alkalmazkodva betartja [4].

A repülőgépet George W. Bush elnök szavaival élve a kínaiak „megbábrálták” [5]. Tették ezt mindazok ellenére, hogy a kínaiak nem léphettek volna be engedély nélkül az amerikai katonai légi járműbe, mert béke idején annak fedélzete repülő államterületnek számít, így az amerikai joghatóság alatt áll. A nemzetközi jog alapvető szabályai azonban nem mindig találnak követőkre, ezért – valószínűleg az általános tapasztalatból kiindulva – még a kényszerleszállás közben a 23 fős amerikai személyzet tagjai a repülőgép fedélzetén „törtek-zúztak” és megpróbálták a legfontosabb szoftvereket, berendezéseket megsemmisíteni, hogy azok idegen kézbe ne kerülhessenek. A repülőgépet a kínaiak csavarról csavarra átvizsgálták és a katonai gépet később hiányos állapotban – nemzetközi jogot sértve – darabjaiban visszaadták, a letartóztatott személyzetet a nemzetközi jog előírásának megfelelően szabadon engedték. A veszteséget szenvedő kínai félnek nem sikerült a tengerjog szabályainak sajátos értelmezésével igazát bizonyítania, ugyanakkor érvelésében a Chicagói Egyezmény szabályaira sem hivatkozhatott, mert az állami (katonai) légi járművekre az Egyezmény nem alkalmazható.

LÉGI JÁRMŰ

A légi jármű fogalma

A Chicagói Egyezmény rendelkezéseiben nem találjuk a légi jármű fogalmi meghatározását. Az Egyezmény a légi járművek felség- és lajstromjелеiről szóló 7. Függeléké ugyanakkor pontos definíciót tartalmaz: a légi jármű bármely olyan szerkezet, amelynek levegőben maradását a légkörben a levegővel való kölcsönhatás segíti, amely nem azonos a föld felszínére ható ellenhatással [6].

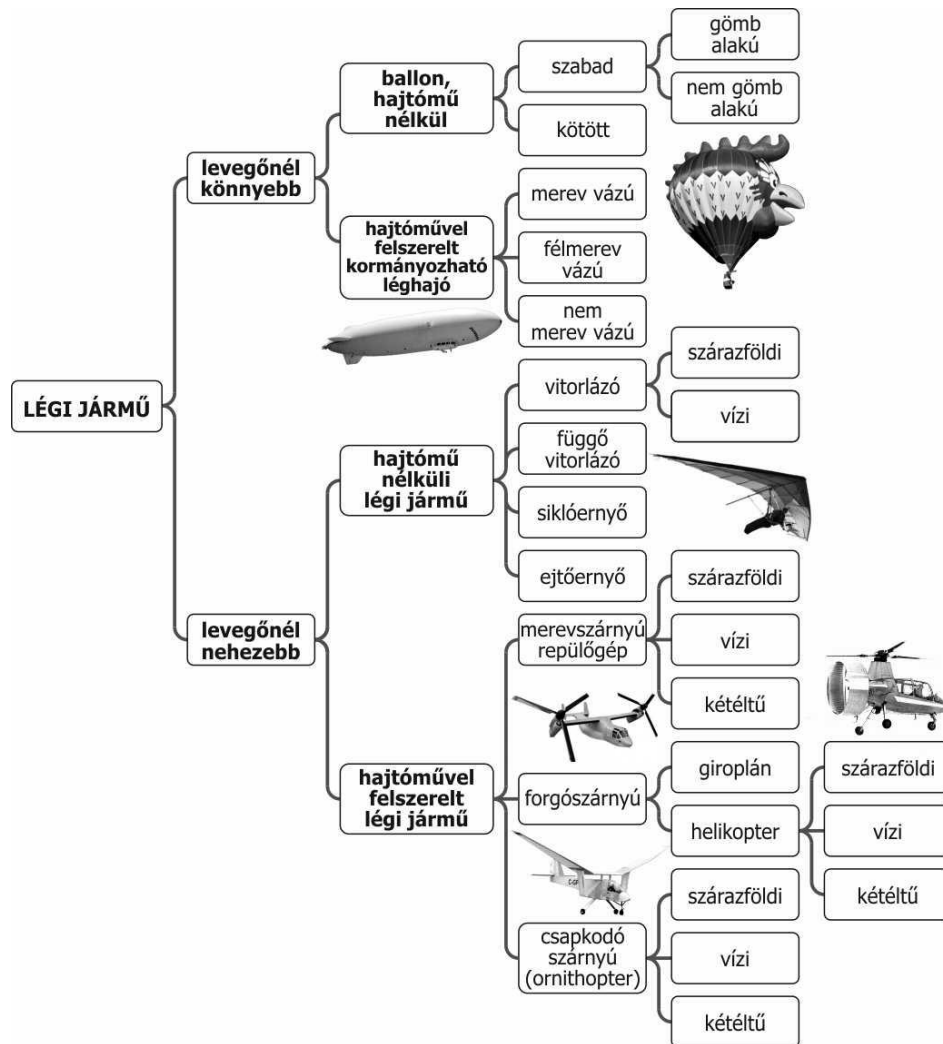
Ez a kölcsönhatás:

- ➔ a levegőnél *nehezebb* légi járművek esetén az aerodinamikai felhajtóerőtől származik, mert ezek a légi járművek a repülés közben a felhajtóerőt elsősorban az aerodinamikai erőkből nyerik;
- ➔ a levegőnél *könnyebb* légi járművek esetén a fajsúlykülönbségből származik, mert a levegő felhajtóereje tartja ezeket a légi járműveket a levegőben.

A *légi jármű* ezért tág fogalom, amelybe a hagyományos értelemben vett széles- és keskenytörzsű utasszállító repülőgépeken túl a helikopterek, a ballonok, a léghajók, a vitorlázó repülőgépek, de még a papírsárkányok is beletartoznak. Az előbbiekből így az következik, hogy minden repülőgép légi jármű, de nem minden légi jármű repülőgép.

A Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (ICAO) Tanácsa 1967 novemberében úgy döntött, hogy a légpárnás siklóhajó nem tartozik a légi járművek fogalmi körébe, így erre a közlekedési eszközre a tengerjogi szabályok alkalmazandók (igaz, nem minden tagállam értett egyet ezzel

a döntéssel). [7] Az ekranoplán (párnahatás repülőgép), amely átmenetet képez a légpárnás siklóhajó és a repülőgép között, a Nemzetközi Tengerészeti Szervezet (IMO) szerint hajónak minősül. Az űrrepülőgép ugyanakkor csak felszálláskor nem minősül légi járműnek, hiszen akkor rakéta meghajtással közlekedik és hagyja el a Föld felszínét, de leszálláskor már légi járműként viselkedik, mert *a levegővel való kölcsönhatás segítségével* száll le. [8] Mindezek ellenére a légtérbe belépő, a világűrből visszatérő űreszkozt az államok nem minősítik légi járműnek, jogilag űreszkozként tartják nyilván [9].



2. ábra Légi járművek rendszerezése

Az ábrán feltüntetett légi járművek közül a nemzetközi polgári repülésben (a személy- és áruszállításban) kiemelkedően a repülőgépeknek és a helikoptereknek van jelentősége. A repülőgép olyan a levegőnél nehezebb, erőgép-meghajtású légi jármű, amely a repülés közben a felhajtóerőt elsősorban a repülés adott szakaszaiban rögzített helyzetben maradó felületeire ható aerodinamikai reakciók révén nyeri. A helikopter olyan, a levegőnél nehezebb légi jármű, amelynek levegőben maradását egy általában függőleges tengelyre szerelt egy, vagy több erőgép meghajtású rotorlapáton képződő felhajtóerő biztosítja.

A pilóta nélküli légi járművek a táblázatba nem kerültek külön besorolásra, mert az itt meghatározott légi járművek bármelyike lehetne pilóta nélküli is egyben.

Pilóta nélküli légi járművek

Az olyan légi jármű, amelyik pilóta nélküli repülésre alkalmas, a Szerződő Államok területe fölött pilóta nélkül az illető állam külön engedélyével és az engedély feltételeinek megfelelően repülhet (8. cikk). A II. második világháborúban már több állam alkalmazott olyan légi járművet, amely személyzet nélküli repülésre volt alkalmas, így nem véletlen, hogy már az Egyezmény is foglalkozik ezzel a kérdéssel. A pilóta nélküli repülés fejlődése szorosan kapcsolódik a katonai alkalmazásokhoz, mert általánosságban igaz, hogy a háborúk és a fegyveres konfliktusok a mozgatórugói a repülőgépekkel és más technikai eszközökkel kapcsolatos kutatásoknak és fejlesztéseknek. A Habsburg Birodalom katonai erői már a XVIII. század közepén használtak Velence bombázására személyzet nélküli ballonokat. Motorral hajtott társaik, a pilóta nélküli légi járművek az I. világháborúban jelentek meg. A II. világháború egyik legismertebb robotrepülőgépe, a németek által kifejlesztett és nagy számban gyártott, támadó céllal alkalmazott, megtorló fegyvernek elnevezett (V-1) rakétahajtású repülőeszköz volt. A második világháború után a pilóta nélküli légi járművek fejlesztésére irányuló tervek alábbhagytak, és a légi robotokat elsősorban katonai gyakorlatoknál, légi célpontok utánzására alkalmazták. A hidegháború idején felderítő és megfigyelő eszközként kerültek felhasználásra.

A Bikini-szigeteken végzett atomkísérleteknél például regisztráló műszerekkel, szenzorokkal felszerelt pilóta nélküli megfigyelő repülőgépeket alkalmaztak, amelyek sértetlenül tértek vissza a 350 km-re fekvő támaszpontra a halálos radioaktív sugárzással telt robbanás körzetéből. A Bikini-atoll (korallzátonyokból felépülő szigetsorozat) a Marshall-szigeteken 23 szigetből álló 8,8 négyzetkilométernyi terület, amelyen az Egyesült Államok 1946–1958 között 23 atombombát és hidrogénbombát robbantott fel. A Bikini-sziget volt a helyszíne a magyar származású Teller Ede (1908–2003) által kifejlesztett hidrogénbomba első felrobbantásának is, amelyet 1956-ban egy amerikai katonai (állami) légi járműről dobtak le.

Az 1980-as és az 1990-es évek fegyveres konfliktusaiban indult igazán rohamos fejlődésnek ez az eszköz, és ma már ritkaságszámba megy az az ország, amelynek fegyveres erejében ne lenne rendszeresítve a pilóta nélküli légi járművek valamelyik típusa [10].

A pilóta nélkül repülő polgári légi jármű első bemutatkozására 1947. szeptember 23-án került sor. Egy átalakított Douglas C-54 típusú négymotoros utasszállító Skymaster (DC4) repülőgép – az út fel- és a leszállási szakaszát kivéve – közvetlen emberi beavatkozás nélkül repült megszakítás nélkül az Egyesült Államokból Angliába [11]. A technológia egyre elterjedtebbé vált és az egyszer vagy többször felhasználható, a repüléséhez aerodinamikai erőket igénybe vevő, Pilóta Nélküli Légi járművek (UAV) napjainkra elérték azt a fejlettségi szintet, hogy bizonyos feladatok végrehajtásában hatékonyabban és biztonságosabban működnek, mint a hagyományos repülőgépek. A távirányítással, programozott önirányítással, illetve kombinált irányítással működő légi robotok a katonai alkalmazásból sokrétű módon kerültek át a polgári élet területeire. Napjainkban már az autópályák forgalmát ellenőrzik, a vízállást és a határt figyelik, de a növényvédelemben és a régészeti kutatásokban is segítséget nyújtanak. Az UAV-k látványos elterjedése következtében a nemzetközi és nemzeti szintű részletes szabályozás elkerülhetetlenné vált.

A Szerződő Államok kötelezettséget vállalnak a pilóta nélküli légi járműveknek a polgári légi járművek számára nyitva álló körzetekben történő ellenőrzésére. A jogalkotó célja a polgári légi járművek zavartalan nemzetközi közlekedésének biztosítása (8. cikk). Tekintettel arra,

hogy az Egyezmény a nemzetközi polgári repülésre alkalmazandó, az ICAO szabályozói hatáskörrel a pilóta nélküli légi jármű üzemelésére csak akkor rendelkezik, ha az egy másik Szerződő Állam területe felett repül. A technika forradalmi elterjedése részletesebb nemzetközi szintű jogi szabályozást követel meg. Az ICAO-nak ezért meg kell határoznia [12] a Vezető nélküli Légijármű Rendszer (UAS), [13] ezen belül a polgári felhasználásban elterjedt Távirányított Repülőgép Rendszerek (RPAS) minimális üzemelési feltételeit, az eszköz jelekkel/jelzésekkel történő ellátását, lajstromba vagy nyilvántartásba vételét, az üzemeltetéshez szükséges engedélyeket, a szakszemélyzet képezését, az alkalmazási kör meghatározását és a légi közlekedési felelősségbiztosítás kérdését [14].

POLGÁRI ÉS ÁLLAMI LÉGI JÁRMŰVEK

A polgári és állami légi járművek elhatárolása

A jogalkotó az Egyezmény alkalmazhatósága tekintetében félreérthetetlenül és határozottan (*expressis verbis*) fogalmaz, amikor kijelenti, hogy az Egyezmény csak és *kizárólag* a *polgári légi járművekre* alkalmazható, míg az *állami légi járművekre nem* (3. cikk). Az elhatárolás fontossága ellenére az Egyezményben mégsem került pontos meghatározásra a polgári légi jármű fogalma. Ehelyett inkább példászerű felsorolásban foglalja össze a jogalkotó, hogy az állami közhatalmi funkciók (*acta iure imperii*) ellátása során mi minősül állami légi járműnek. Így állami légi járműnek kell tekinteni: a katonai, a vám- és a rendőri szervek céljára szolgáló légi járművet [3. cikk b)]. Tekintettel arra, hogy ez a felsorolás nem tételes (*taxative*), ezért az állami légi járművek kategóriájába tartoznak még: a kutató-mentő, a légimentő, a Nemzetközi Vöröskereszt, [15] a parti őrség, a humanitárius segélyszállító, a földmérési-térképészeti felmérő, a speciális feladatokat ellátó például rabokat, menekülteket szállító, valamint az állami vezetőket kiszolgáló légi járművek.

A polgári és állami légi járművek közötti tiszta elhatárolás jelentőséggel bír. A legfontosabb, hogy az állami légi járművekre a nemzeti jog belső szabályai vonatkoznak, vagyis az Egyezmény szabályai nem. Az elhatárolás másik fő aspektusa a jogi és hatósági követelményekből eredő különbségek, amelyek a repülési feladatok végrehajtása során az eltérő engedélyezési folyamatokban és üzemeltetési eljárásokban nyilvánulnak meg.

Az állami légi járműveket a katonai, míg a polgári gépeket a polgári légügyi hatóság veszi nyilvántartásba. Lényeges azonban kiemelni, hogy az állami és polgári repülőgépek megkülönböztetése önmagában nem a légi járművek regisztrálásával (például polgári légi járműveknek kötelező a lajstromjelet használni, míg a katonainak nem), vagy éppen azok tulajdonjogi bejegyzésével, vagy éppen technikai jellegzetességeik, hanem az adott tevékenység céljával, annak végzésével függ össze. A funkcionalitás alapján a légi járművet elsősorban az általa végzett szolgáltatás, a végrehajtandó feladat kategorizálja. Több aspektust szükséges megvizsgálni: mi a célja a repülésnek, milyen hajózó személyzet (polgári vagy katonai) hajtja végre a repülési műveletet, milyen repülési terv és engedélyek alapján végzi a személyzet a repülést, illetve mit szállít a légi jármű. Például, ha a polgári repülőgép parancsnoka szigorúan titkos vagy titkos minősítésű diplomáciai poggyászt szállít, az a légi jármű nem minősül államinak. A diplomáciai poggyász nem minősül feladott poggyásznak, és ezen poggyász átvizsgálása – az előre biztosí-

tott mentesség kivételekor – kötelező. A diplomáciai poggyász fuvarozásáért kizárólag a diplomáciai futár tartozik felelősséggel. A diplomáciai futár hiányában az utazás időtartama alatt – jogszabályban meghatározott felhatalmazás alapján – a légi jármű parancsnoka felel. A parancsnokpilótát a diplomáciai poggyászt alkotó csomagok számát feltüntetető hivatalos okmánnyal kell ellátni, őt azonban diplomáciai futárnak nem lehet tekinteni [16].

Egyértelműen államinak számítanak a katonai éles-, gyakorló- vagy bemutató repülések, a katonai titkos küldetések, a rutin katonai szállítási műveletek és a rendvédelmi célú repülések. Állami repülésnek számít az is, ha a katonai vadászgép vagy bombázó, katonai személyzettel, de polgári repülési tervet használva repül át egyik repülőtérről a másikra. A polgári és katonai együttműködés az ún. Rugalmas Légtérfelhasználás (FUA) koncepció szerint kétfajta repülést ismer: az Általános Légiforgalmi (GAT) repülést, amely az ICAO szabályai, kiemelten az Egyezménynek a repülési szabályokról szóló 2. Függelékében előírtak szerint végrehajtott repülést jelent; és a Műveleti Légiforgalmi (OAT) repülést, amely nem kereskedelmi, nem hobbi, nem sport célzatú, hanem az állami (katonai) vagy közhasznú műveleteket végrehajtó, főleg katonai légi járművel végzett repülés.

Ha az állam a polgári légi járművet állami, katonai célokra vesz igénybe, akkor a légi jármű államinak minősül: például állami vezetők, delegáció szállításakor, vagy a polgári légi járművek békaidőben történő repülésekor, ha a légi jármű speciális feladatokat, katonai jellegű szállításokat hajt végre meghatározott honvédelmi, valamint szövetségesi igények és követelmények teljesítésére (például katonák vagy elfogott személyek szállítása, segélynyújtó szakemberek vagy segélyszállítmány célba juttatása, kutató-mentő feladatok).

Az EgyptAir (MSR) Boeing 737 típusú légi járművel üzemelő nem menetrendszerű 2843-as számú polgári járata 1985. október 10-én úton Kairóból (HECA) Tuniszba (DTTA) állami megrendelésre, fegyveres katonai őrizet mellett terroristagyanús személyeket szállított. Az amerikaiak joggal éltek a gyanúval, hogy a járaton több olyan érintett terrorista személy tartózkodik, akik részt vettek az Achille Lauro tengerjáró hajó hatalomba kerítésében. A légi járművet nemzetközi vizek felett az Egyesült Államok haditengerészetének F-14 Tomcat típusú vadászgépei elfogták és az Olaszország területén (Szicília) található Észak-atlanti Szerződés Szervezet (NATO) bázisára leszállásra kényszerítették. A Népi Front Palesztina Felszabadításáért (PFLP) terrorszervezet 1985. október 7-én hatalmába kerítette a Földközi-tengeren, egyiptomi felségvízen az Alexandriából – Port Saidba hajózó Achille Lauro elnevezésű luxushajót. Az akció során egy zsidó származású amerikai állampolgár utas, Leon Klinghoffer (1916–1985) az életét vesztette. A terroristák a gyilkosságot eltitkolták, még az áldozat feleségének sem árulták el tettüket, aki mindvégig abban a tudatban volt, hogy férjét csak elzárták. A javarészt amerikai nyugdíjasokból álló utazóközönség biztonságáért tárgyaló egyiptomi hatóságok az emberölés bűncselekményéről nem tudva – amerikai felhatalmazással – szabad elvonulást biztosítottak a terroristáknak, akik az EgyptAir repülőgépén menekültek. Az Achille Lauro (és utasai) hatósági átvételekor azonban kiderült a gyilkosság, ezért az amerikai légierő és a haditengerészet különleges hatos SEAL alakulata akcióba lépett. Ez az incidens volt a légi közlekedés-védelem történetének első olyan ismert esete, ahol egy külföldi légierő vadászrepülőgépe egy polgári légi járművel szemben ilyen jellegű okból fellépett [17].

Az előbbi ügyben az eljárás jogszerűségét megkérdőjelező tiltakozás az ICAO Tanácsa elé nem érkezett, de nem is érkezhetett, mert a polgári légi jármű állami célból történő felhasználása következtében a légi jármű államinak minősült. [18] Az Egyezmény hatálya alá kizárólag a polgári légi járművek tartoznak, ezért ha a légi fuvarozás állami légi járművel kerül végrehajtásra, akkor erre a repülésre a nemzeti jog belső szabályai és eljárásai lesznek az irányadók. Az Egyezmény értelmében az állami légi jármű vezetőjének lehetősége van dönteni – a repülési feladatára és természetére tekintettel – arról, hogy a katonai vagy a polgári légiforgalmi irányítás felügyelete alatt repüljön. A repülés végrehajtásakor és az állami légi járművek engedélyének a kiadásakor végig megkülönböztetett figyelemmel kell lenni a polgári légi járművek biztonságos repülésére [3. cikk *d*]). Elsősorban a biztonság miatt az állami és polgári repülés közötti kapcsolat stratégiaileg kiemelt jelentőséggel bír, amely a gyakorlatban (főként a repülés végrehajtása során) rendkívül szoros és hatékony együttműködést jelent [19].

Az állami légi járművekre speciális szabályok és eljárások vonatkoznak, ezért a nemzeti légügyi hatóságnak kiemelt feladata és egyben felelőssége, hogy a besorolási elvek maradéktalanul érvényesüljenek, a gyakorlatban a megkülönböztetés egyértelműen történjen. Míg a repülés szabályszerű végrehajtásakor a polgári légi járművek (főleg a nem menetrendszerű forgalomban) viszonylag nagy szabadsággal rendelkeznek, addig az állami légi járművek csak külön államközi megállapodás, vagy esetenként kiadott engedély alapján és ezek feltételeinek megtartásával repülhetnek át más Szerződő állam területe felett, illetve szállhatnak le annak területén [3. cikk *c*]).

POLGÁRI LÉGI JÁRMŰ ELLENI FEGYVERHASZNÁLAT

Jogos fegyverhasználat polgári légi járművel szemben

Fő szabályként a repülésben lévő polgári légi jármű ellen fegyvert használni tilos.

A fegyverhasználat tiltása nem új gondolat, már az ENSZ Alapokmányának 2. cikk (4) bekezdése is megköveteli, hogy a szervezet tagjai a nemzetközi érintkezéseik során tartózkodjanak (1) a más állam területi épsége, vagy (2) politikai függetlensége ellen irányuló, vagy (3) az ENSZ céljaival össze nem férő egyéb erőszak alkalmazásától, az erőszakkal való fenyegetéstől [20]. A tiltás ellenére az állam erőszakot, kivételesen (korlátozott mértékben, módon, célból és ideig) és csak akkor alkalmazhat, ha az államterület védelme céljából a megtámadott állam az önvédelem jogával él. Az önvédelem gyakorlásának nélkülözhetetlen feltétele (*conditio sine qua non*) a fegyveres támadás [21]. Jogonalapja az ENSZ Alapokmány 51. cikke, amely biztosítja az Egyesült Nemzetek valamelyik tagja ellen irányuló fegyveres támadás esetében az egyéni vagy kollektív önvédelem természetes jogát. A fegyveres támadás nem egyszerűen erőszak alkalmazása, hanem annak legsúlyosabb esete. Önvédelmi céllal a fegyveres beavatkozás joga kizárólag és jogszerűen az államot illeti meg. Az önvédelem csak akkor jogszerű, ha azt arányosan alkalmazzák és annak szükségessége megállapítható [22]. E jog gyakorlása során a nemzet védelme érdekében a támadással arányban álló fegyverhasználat egészen addig megengedett, amíg az ENSZ Biztonsági Tanácsa a nemzetközi béke és a biztonság fenntartására szükséges rendszabályokat a támadóval szemben meg nem tette [23]. A 2001. szeptember 11.-ét követően az Egyesült Államok és az Egyesült Királyság által – az Al-Káida iszlamista terror-szervezettel szoros kapcsolatban álló – afganisztáni Talibán rezsim ellen indított fegyveres támadás esetében a Biztonsági Tanács azonban nem rendelt el fegyveres szankciót, ugyanakkor

határozatában elismerte „az egyéni és kollektív önvédelem jogát” [24]. Ez úgy értelmezhető, hogy az adott helyzetben a Biztonsági Tanács nem kívánt élni az ENSZ Alapokmányában kapott jogkörével a támadó elleni fegyveres intézkedést illetően, hanem szabad utat engedett az Egyesült Államok önvédelmének [25].

Polgári légi jármű ellen fegyveres beavatkozásra tehát csak azokban a kivételes esetekben van lehetőség, amikor a polgári légi járműveket fegyveres támadásban vagy fegyverként használják. Ha a polgári légi járművet az egyik állam a másik állam ellen irányuló fegyveres támadásra használja (ide tartozik a katonai, partizán- vagy zsoldos csapatok szállítása is), [26] akkor ennek következményeként a polgári légi jármű állami légi járműnek minősül, így kikerül az Egyezmény hatálya alól. Az Egyezmény hatálya alól a polgári légi jármű több esetben is kikerülhet, elsősorban akkor, ha a légi jármű állami feladatot hajt végre, továbbá ha háborús és szükséghelyzet áll fenn, vagy ha az incidens a belföldi forgalomban történik. Ez utóbbira példa az Egyesült Államokat ért 2001. szeptember 11-én történt terrortámadás. A Chicagói Egyezmény azért nem alkalmazható, mert a terrorcselekmény nem a nemzetközi repülés során történt, hanem belföldi repülési környezetben, belső célpontok ellen, amelyet a terroristák a megtámadott ország belföldi légitársaságainak a repülőgépeivel [United Airlines (UAL), American Airlines (AAL)] hajtottak végre. Így ebben az esetben az Egyezmény 3. cikkének a tiltását és vonatkozó szabályait nem kötelező alkalmazni. A gyakorlatban természetesen nincs így, mert az Egyesült Államok az ICAO tagja és a tagságból eredően eleve beépítette a nemzeti jogrendjébe és belső eljárásaiba az elfogással kapcsolatos, az ICAO által meghatározott szabályokat és azok végrehajtására – minden, a területe felett történő repülésre vonatkozóan – kötelezettséget vállalt.

Háborúban az Egyezmény rendelkezései nem érinthetik a Szerződő Államok cselekvési szabadságát, akár hadviselő felek, akár semlegesek. Ugyanez az elv vonatkozik arra a Szerződő Államra, amely szükséghelyzetben levőnek [27] nyilvánítja magát, és ezt a tényt az ICAO Tanács tudomására hozza. Háborús és szükséghelyzetben tehát az érintett tagállamok dönthetnek úgy, hogy az Egyezmény cikkeit – részben vagy teljes egészében – nem tekintik magukra nézve kötelező érvényűnek (89. cikk). Az ilyen esetekben az Egyezmény szabályai nem alkalmazandók, de ez nem jelenti azt, hogy a légi járművek ellen automatikusan a nemzetközi szabályokba ütközően erőszakot lehetne alkalmazni, azaz fegyverrel lehetne fellépni, mert a cselekvő feleket továbbra is kötik a szokásjog, a háborús és humanitárius jog nemzetközi szabályai. A Nemzetközi Bíróság a *Korfu-szoros*-ügyben [28] kiemelte, hogy békeidőben a háborús szabályok nem érvényesek, de az emberiesség megtartása békében sokkal inkább megkövetelendő alapfokú szempont, mint a háborúban. Minden országnak joga van határainak, belső szuverenitásának és államterületének védelméhez, de ez a jog csak az emberiesség alapfokú szempontjának figyelembevételével és érvényesülése mellett gyakorolható.

Ugyanakkor, ha a polgári légi járművet magánszemélyek jogellenes cselekmények elkövetésére használják, ezek a tevékenységek önmagukban nem teremtik meg a polgári légi járműnek állami légi járművé történő minősítését és így az Egyezmény hatálya alóli kikerülését. Mivel a magánszemélyek jogellenes cselekményeinek elkövetése mögött nem áll állami akarat, az államhoz köthető sajátos érdek vagy bizonyítható valós kapcsolat, ezért az állami felelősség ilyenkor nem merülhet fel. Az államoknak az utasok, a személyzet, valamint a földön tartózkodó harmadik személyek életének, testi épségének és tulajdonának védelme az elsődleges

szempontja és egyben alkotmányos kötelezettsége, ezért a polgári légi járműre továbbra is az Egyezmény szabályai lesznek az alkalmazandóak.

Olyan érdekes helyzet is előállhat, hogy polgári légi járművel, például helikopter segítségével az elkövetők rabokat próbálnak megszöktetni a börtönből. Az Egyezmény szabályainak értelmében, még akkor is, ha az elkövetők nyilvánvalóan visszaélnék a polgári repüléssel, a helikopter mindvégig polgári légi járműnek minősül. Ebből az következik, hogy amíg a helikopter a földön tartózkodik, a szökést meg lehet fegyverrel akadályozni, erő alkalmazásával jogszerűen meghiúsítani, de amikor a légi jármű a levegőbe emelkedik, azaz *repülésben lévő* polgári légi járműként halad, akkor az Egyezmény értelmében a fegyverhasználattól tartózkodni kell [29].

Ha a polgári légi járművet a terroristák fegyverként használják vagy felrobbantják, akkor azok az emberiség ellenségei (*hostis humani generis*) [30], így minden körülmény között el kell nyerniük a büntetésüket, védelmet a jogszabályokban soha nem találhatnak. Az Egyesült Államokat ért terrorcselekmények új alapokra helyezték az önvédelem jogának gyakorlását és a fegyverhasználat tilalmának általános értelmezését. Az új alapok bizonyos mértékben szétfeszítik az önvédelem jogához kapcsolódó normatív szabályrendszert (például a szükségesség és arányosság feltételeinek a figyelmen kívül hagyásával), mert az új doktrína következtében az önvédelem jogához kapcsolódó minden garanciális szabály radikálisan kitágulhat, és az erő alkalmazása egyre inkább megengedetté válik [31]. Egy biztos, az új alapokat elsősorban nem jogászok fektették le, hanem maga az élet, és a polgári légi járművel megtámadott állam minden kétséget kizáróan élni fog az önvédelem természetes jogával. Ilyen helyzetben a katonai illetékesek minden lehetséges körülményt mérlegelve gyors és jogilag védhető döntést fognak hozni. A védelmi célból élesített rakétát abszolút szükségből – a repülőgéproncs várható pályájának a kiszámítása mellett – ki fogják löni, mert továbbra is létezik a nemzetközi jogban és a nemzeti eljárásokban a jogszerű fegyverhasználat lehetősége.

Tiltott fegyverhasználat polgári légi járművel szemben

Az ENSZ 10. Közgyűlésén (1955) a tagállamok javaslatot tettek a polgári légi járművek más ország határain túli nem szándékos, azaz figyelmetlenségből, vagy tévedésből történő berepülése esetén fellépő veszélyhelyzetek szabályozására [32]. A szabályozási javaslat közvetlen kiváltó oka az volt, hogy 1955. július 27-én az EL AL izraeli légitársaság Lockheed Constellation típusú repülőgépét úton Tel-Avivból (LLBG) Londonba (EGLL) Bulgária területe feletti légterben a bolgár légierő MIG 15 vadászgépe minden előzetes figyelmeztetés nélkül lelőtte [33]. Az ügy a Nemzetközi Bíróság (ICJ) elé került, de érdemi ítélet nem született, mert a perben a bíróság kötelező joghatóságát nem állapította meg [34]. A bolgár állam kezdetben a másik felet hibáztatta, de végül bocsánatot kért (belátta, hogy az erőszak alkalmazása aránytalan volt) és az áldozatok után kártérítést fizetett.

A repülés történetében sajnos több alkalommal került sor a polgári légi járművek katonai vagy más célból, esetleg tévedésből történő megsemmisítésére.

Példaként 1973. február 21-én a Líbiai Arab Légitársaság (LAA) Boeing 727-224 típusú (5A-DAH lajstromjelű) repülőgépét úton Tripoliból (HLLT) Kairóba (HECA) az izraeli légierő F-4E Phantom II. vadászgépe a Sínai-félsziget felett lelőtte. A polgári repülőgép pilótái navigációs hibájuk következtében eltértek a megadott útvonaltól és izraeli területre tévedtek. Miután

felismerték a bajt, éles fordulóval visszafelé vették az irányt, de közben vadászgépek fogták el őket és kényszerítették – szárnybillegetéssel, illetve figyelmeztető lövésekkel – a leszállásra. A polgári repülőgép pilótái nem követték az elfogás során alkalmazott utasításokat, ennek következtében a repülőgépet, amely közben már egyiptomi terület feletti légtérben tartózkodott jogellenesen, fedélzeti géppuskával kilőtték. Az ICAO Tanácsa elítélte a Chicagói Egyezmény alapelveit sértő jogellenes izraeli magatartást [35]. Izrael állama pedig elismerte felelősségét a „hibás döntés” kapcsán és elégtételként az áldozatok hozzátartozóit kárpótolta.

1988. július 3-án az Iráni Légitársaság (IRA) Airbus 300-as típusú (EP-IBU lajstromjelű) polgári légi járművét – úton Bandar Abbasból (OIKB) Dubaiba (OMDB) – a Hormuzi-szorosban tartózkodó USS Vincennes CG-49 amerikai rakétacirkáló hadihajó téves, a repülőgépet F-14-es vadászgépként történt azonosítása után kilőtte, és ezzel a fedélzeten tartózkodó 290 utas és személyzet halálát okozta. Az ügy 1989. május 17-én Irán kezdeményezésre a Nemzetközi Bíróság (ICJ) elé került. Az incidens végül a tárgyalásig nem jutott el, mert a felek között teljes körű, peren kívüli egyezség született. Az Egyesült Államok kormánya a „szörnyű emberi tragédia” okozását elismerte és a hozzátartozóknak *ex gratia* alapon, minden keresőképes áldozat után 300 000 USD és minden nem keresőképes áldozat után 150 000 USD összegű kártérítést fizetett. [36] Az *ex gratia* jellegű kifizetés lényege, hogy az anyagi kompenzáció nyújtása ellenére ezen aktus a felelősség elismerésével együtt nem jár. (A Szovjetunió például nem fizetett ilyen alapon a KAL 007-es járat 1983. szeptember 1-jén történt lelövéséért. Az ukrán kormány ugyanakkor a hozzátartozók gyászában osztozva, minden utas és a személyzet tagjai után *ex gratia* alapon 200 000 USD összeget fizetett, miután az orosz Siberia Airlines 1812-es járatát 2001. október 4-én, a Fekete-tenger felett, ukrán katonák hadgyakorlat közben véletlenül lelőtték, és ennek következtében a Tu-154 típusú repülőgép megsemmisült. A Szovjetunió kormánya például hosszas vita után ilyen jogcímen fizetett – igaz, csak részben – a Kozmosz-954 felderítő műhold kanadai területre történt lezuhanása következtében szétszóródott radioaktív törmelék által okozott károkért.) [37]

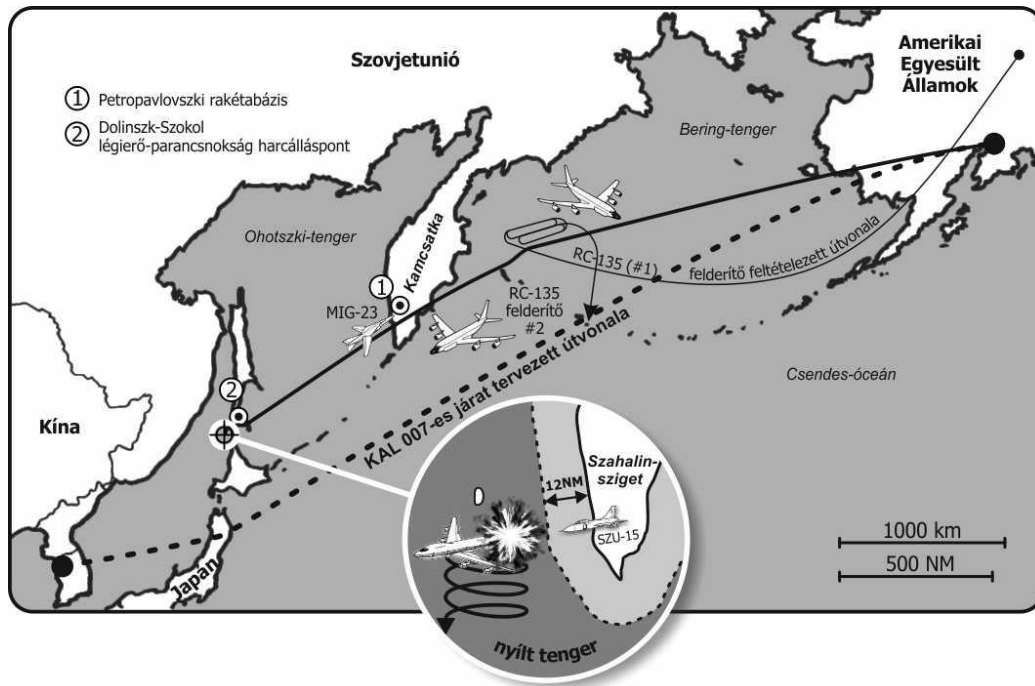
Szerencsés eset történt 1978. április 20-án, amikor a dél-koreai nemzeti légitársaság (KAL) Boeing 707-321B típusú repülőgépe Párizsból (LFPG) az alaskai Anchorage repülőtér (PANC) felé tartva [a KAL 902-es járat végállomása Szöul (RKSS) volt] a navigációs rendszer hibája miatt súlyosan eltévedt és az ellentétes irányba navigálva magát helytelenül berepült a Kola-félsziget (murmanszki terület) fölötti tiltott szovjet légtérbe. A honi légvédelem parancsnoka, bár tisztában volt azzal, hogy a repülőgép polgári légi jármű, de mivel annak hajózó személyzete az elfogási cselekményekre nem megfelelően reagált, kiadta a tűzparancsot [38]. A Szuhoj 15TM típusú elfogó-vadászgép pilótája két légiharc rakétát lőtt ki: az egyik célt tévesztett, a másik pedig becsapódott a polgári repülőgépbe és ennek következtében két utas életét veszítette, de a repülőgéptestben nagyobb kárt a becsapódás nem tudott okozni, mert a vadászpilóta a rakétát kilövés előtt nem aktiválta. A határsértő repülőgép pilótája így szerencsés kényszerleszállást tudott végrehajtani egy befagyott tó jegén, a Szovjetunió északnyugati területén [39].

Még csak öt év telt el – az előbbieken röviden bemutatott – KAL 902-es járatot ért incidens óta, és a történelem megismételte önmagát. A szovjet légvédelem a dél-koreai nemzeti légitársaság újabb járatát támadta meg, amely még nagyobb nemzetközi felháborodást keltett és komoly diplomáciai feszültséget okozott. A hidegháborús felek diplomáciai kapcsolata a kubai rakétaválság (1962) óta nem zuhant olyan mélypontra, mint amikor a KAL légitársaság Boeing

747-200-as típusú repülőgépét, amely New Yorkból (KJFK) az alaszakai Anchorage repülőterén (PANC) történt leszállás után Szöulba (RKSS) tartott, 1983. szeptember 1-jén hajnalban – az Ohotszki-tenger felett – a szovjet légierő Szuhoj 15TM elfogó vadászrepülőgépe lelőtte. A KAL 007-es számú járat fedélzetén utazó 269 ember – köztük 22 gyermek – a tengerbe zuhant és életét veszítette. A polgári utasszállító repülőgép útja során – a pilóták hibája következtében – eltért, majd fokozatosan eltávolodott a tervezett útvonaltól. Ennek következtében a koreai repülőgép útja során többször berepült a szovjet légtérbe, sőt a szigorúan titkos katonai létesítményekkel teli Kamcsatka-félsziget felett is átrepült. A szovjet légvédelem felelős parancsnoka, bár egyáltalán nem volt meggyőződve arról, hogy a határsértő repülőgép polgári vagy állami légi jármű, kiadta a tűzparancsot. Amint oly sokszor a történelem folyamán, a tények nem teljes birtokában, az érintett nagyhatalmak a saját érdekeik olvasatában egy eltúlzott, leegyszerűsített képet festettek az incidensről. Propagandisztikus elemeket használva megosztották a saját verziójukat az egész világgal és elmagyarázták az embereknek a szándékos gyilkosság, vagy éppen a hősiesség önvédelmi akció légtudományát. [40] Bár még mindig maradtak megválaszolatlan kérdések, a repülési adatrögzítő (fekete doboz) [41] nemzetközi kiértékelése után egyre inkább nyilvánvaló, hogy a tapasztalt pilóták durva navigációs hibája következtében a repülőgép eltért a hivatalos repülési tervben lekért és engedélyezett útvonaltól, amelynek következtében, valamint több más szerencsétlen körülmény közrejátszásából adódóan a tragédia megtörténhetett.

A KAL 007-es járat egyértelműen megsértette a szovjet légtérrel, és a Kamcsatka-félsziget felett kijelölt tiltott légtérben repült, és ezzel nemzetközi jogot sértett. A szovjet légierő ugyanakkor a megsemmisítés előtt elmulasztotta a repülőgép állami vagy polgári voltát minden kétséget kizáróan megállapítani és a nemzetközi, valamint a belső jog által előírt szabályokat betartani. A polgári repülésért felelős minisztérium által kiadott légi jármű elfogás esetén alkalmazandó eljárás – amelyet mind a polgári és a katonai pilóták, valamint a külföldi pilóták számára is hozzáférhetővé tesznek – a következő lépéseket írja elő. Rádióon történő kommunikáció és összeköttetés létesítése (bármely frekvencián, beleértve a 121,500 MHz-es vész- és kényszerhelyzeti frekvenciát is), fényjelzések, vizuális, azaz szemmel látható jelzések leadása, mint például szárnybillegetés. Mindezeket a figyelmet felkeltő cselekvéseket – a lehetőségekre tekintettel – addig szükséges folytatni, amíg azok elérik a céljukat és az elfogott gép pilótája reagál [42].

A minden kétséget kizáró azonosítás elmaradásának az oka valószínűleg az volt, hogy a szovjet légvédelem parancsnokságát nagyon szorította az idő. Az elfogó műveletek közben ugyanis a határsértő repülőgép a nemzeti légtér elhagyásához közeledett, ezért a továbbra is azonosítatlan repülőgépnek a saját terület felett történő elfogására nem maradt idő. Az ICAO jelentése szerint [43] a repülőgép az elfogás pillanatában bizonyíthatóan 21 tengeri mérföld távolságra volt a legközelebbi szovjet szárazföldi alapvonaltól. A navigációs hiba következtében eltévedt, így a bajban levő polgári repülőgépet a végzetes találat az Ohotszki-tenger felett, nemzetközi légtérben érte. Az Ohotszki-tengert szinte minden irányból orosz terület veszi körül: a kontinens, a Kamcsatka-félsziget, a Szahalin-sziget és a Kuril-szigetek, de mégse minősül belvíznek (zárt tengernek), ebből kifolyólag orosz területnek, mert délen a tenger Hokkaidó szigetével – Japán területével – határos. Ennek következtében a fegyveres támadás abban a pillanatban már nem volt jogszerű, az erőszak alkalmazása pedig aránytalan volt, ezért a nemzetközi jog alapelvei és szabályai súlyosan sérültek [44].



3. ábra Korean Air Lines 007-es járat útvonala

Az utasok hozzátartozói a tragédia után beperelték a légiforgalmi térképet gyártó (Jeppesen Sanderson Inc.) céget, mert a térképek nem tartalmaztak kifejezett figyelmeztetést arra, hogy a szovjet légtér megsértése milyen következményeket von maga után. Ráadásul a térkép csak korlátozott légtérrel jelölt a veszélyes légtér helyett azon a helyen, ahol a légi jármű a tényleges lelövés előtt haladt. A bíróság a felperesek keresetét elutasította, mert nem talált ok-okozati összefüggést a baleset bekövetkezése és a térkép nem megfelelő szövegezése között. [45] A Boeing 707-es polgári repülőgépek bázisán kifejlesztett Boeing RC-135-ös négy hajtóműves amerikai felderítő repülőgépek a rendkívül védett térségekbe rendszeresen berepültek, sorozatban megsértették a szovjet felségterületet, a nemzeti légtérrel, így joggal vélelmezhetette a szovjet légvédelem, hogy az ellenséges erők egy újabb katonai célú felderítő repülést hajtanak végre a térségben.

Mit tehetünk a jog eszközeivel? Az ICAO jogalanyisága nemzetközi szervezetként részleges és származékos. Ennek következtében nincs hatósági, felügyeleti jogköre, sem jogképessége arra, hogy tagállamaival szemben közvetlen kényszerítő eszközöket vagy szankciókat alkalmazzon. Az ICAO mégis az egyetlen olyan szerv, amely a világ repülését érintő kérdésekre szabályozói funkciójánál fogva globálisan reagálni tud. Az ICAO Tanácsa megtette a szükséges lépéseket és megreformálta a polgári légi járművek elfogására és azonosítására vonatkozó nemzetközi szabályokat. Az ICAO előírta az óceáni útvonalakon közlekedő repülőgépek személyzetének, hogy a helymeghatározás ellenőrzése céljából a partvonalat a meteorológiai radarjukkal állandó figyelemmel kövessék, forródrót-összeköttetés kiépítését követte meg a Csendes-óceán északi medencéjében az amerikai, a szovjet és a japán légügyi hatóságok között, és javaslatot tett a polgári és katonai légi járművek, illetve a légiforgalmi irányítók közötti kommunikáció globális fejlesztésére [46].

Az ICAO-t gyakran érte az a vád, hogy mint politikai (a tagállamok érdekeit figyelembe vevő plenáris) szervezet lassan reagál, [47] érthetően a nemzetközi közösség jelen esetben is érdemi, átfogó és gyors lépéseket sürgetett. Szükség volt egy olyan írott szabályra, amelynek nemzetközi

szintű elismerése minden állam tekintetében a nemzetközi jog alapelveinek követése mellett legitimmé és jogilag kötelezővé teszi a szokásjogban eddig nem mindig érvényesülő gyakorlatot.

A tragédiát követően az ICAO 25. rendkívüli Közgyűlésén (1984) a tagállamok végül egyhangúlag elfogadták az Egyezményt kiegészítő 3. alcikk jegyzőkönyvét, annak négy alpontját:

- a Szerződő Államok elismerik, hogy mindegyik államnak *tartózkodnia kell a repülésben lévő polgári légi jármű elleni fegyverhasználat alkalmazásától* és azt, hogy az államok nem veszélyeztethetik a légi jármű elfogásakor a fedélzeten lévő emberek életét és a légi jármű biztonságát;
- a Szerződő Államok elismerik, hogy a szuverenitás gyakorlásaként minden állam jogosult a területe felett felhatalmazás nélkül repülő polgári légi járműnek valamely kijelölt repülőtéren történő *leszállásának követelésére*. Ha a tagállam megalapozott okból arra a következtetésre jut, hogy a repülést az *Egyezmény célkitűzéseivel összeegyeztethetetlen célra használják*, akkor az ilyen légi járműnek a tagállam jogosult olyan utasítást adni, amellyel véget vet az ilyen jogsértéseknek;
- minden polgári légi jármű köteles eleget tenni az előző bekezdésnek megfelelően kiadott utasításnak és minden egyes Szerződő Állam köteles megalkotni nemzeti törvényeiben és rendeleteiben minden szükséges rendelkezést, amely kötelezővé teszi a fenti szabályoknak történő megfelelést. Minden egyes Szerződő Állam köteles súlyosan büntethetővé tenni ezen alkalmazandó törvények és rendeletek bárminemű megsértését, és az ügyet törvényei és rendeletei szerint köteles az illetékes hatóságra elé terjeszteni.
- minden egyes Szerződő Állam köteles megfelelő lépéseket tenni annak megtiltására, hogy a polgári légi járművet előre megfontoltan, az Egyezmény célkitűzéseivel összeegyeztethetetlen célokra használják.

A szabály egyértelműen tiltja a fegyverhasználatot, de nem tiltja a repülésben lévő polgári légi jármű ellen – például elfogás esetén – az erő alkalmazását. A polgári légi jármű vadászgépekkel történő elfogása így jogszerű egészen addig, amíg az elfogó vadászgépek olyan cselekményt nem hajtanak végre, amely veszélyt jelenthet az elfogott repülőgépre nézve. Ilyen fegyver alkalmazása nélküli cselekmény lehet például egy megleckéztetés, erőfitogtatás szándékával végrehajtott veszélyes manőver [48]. Alapkövetelmény, hogy az elfogást végző – az állam védelmét biztosító – erőknek az arányosság elvének figyelembevételével kell eljárniuk, mert az erő szükséges alkalmazására csak olyan mértékben kerülhet sor, amely a veszély elhárításhoz feltétlenül szükséges [49]. Az erő alkalmazásának biztosítása mellett a jogalkotó a Szerződő Államok védelmi érdekei felé helyezi a legfontosabb alapcél, a repülésbiztonságot. A légi jármű vezetője köteles annak az államnak a repülési szabályait tiszteletben tartani, amelyeknek a légterében tartózkodik. Amennyiben nem teljesíti az erre vonatkozó kötelezettségeit, a területi államnak joga van a szabályokat megsértő személyekkel szemben belső joga alapján eljárást kezdeményezni, valamint megfelelő intézkedéseket foganatosítani. Ilyen cselekménynek minősül az is, ha egy légi jármű engedély nélkül repül be egy idegen állam légterébe, vagy nem azonosítja önmagát. Ebben az esetben az államnak, az Egyezmény repülési szabályokról szóló 2. Függelékében részletesen meghatározott módon joga van a gép elfogására, azonosítására és leszállásra kényszerítésére, de erőszakot a jogsértő légi járművel szemben nem alkalmazhat és pusztán az állam területi szuverenitására hivatkozva azt nem támadhatja meg.

Az ICAO 25. rendkívüli Közgyűlésén meghozott módosítások a tagállamokat új eljárások bevezetésére kötelezték. A hasonló navigációs hibák elkerülése érdekében Ronald Reagan (1911–2004), az Egyesült Államok elnöke a tragédia után két héttel sajtóközleményében tudatta a világgal, hogy a titkos katonai fejlesztés alatt álló, az egész világra pontos mozgást lekövető Globális Helymeghatározó Rendszert (GPS) – kizárólagos hadászati alkalmazása helyett – a polgári légi közlekedés számára is elérhetővé teszik [50]. Az amerikaiak által fejlesztett műholdas GPS-rendszer lényegében háromdimenziós helymeghatározást, időmérést és sebességmérést végez a földön, vízen és levegőben. Pontossága méteres nagyságrendű, de differenciális mérési módszerekkel akár milliméteres is lehet. Az egész világot lefedő, a légi járművek pontos mozgását lekövető GPS-rendszer bevezetése óta garantálja, hogy ilyen módon hasonló tragédiák újra ne történhessenek meg. A tagállamok által a végsőig, egységesen támogatott új szabály 1984. május 10-én egyhangúan elfogadásra került, de hatálybalépéséhez egy jövőbeli feltételnek még teljesülnie kellett. Az ICAO rendkívüli Közgyűlése által elfogadott szabály a Chicagói Egyezmény módosításával járt. Az Egyezmény szerint a módosítás azonban csak akkor lép hatályba, ha azt a Közgyűlés által meghatározott számú állam megerősítette [94. cikk *a*]). A Közgyűlés 102 Szerződő Állam ratifikálásában határozta meg a hatálybalépés feltételét, ezért erre a nagyon fontos aktusra még 14 évet kellett várni.

A 3. alcikk végül Guinea és Kuba ratifikálásával 1998. október 1-jén lépett hatályba. A sors fintora, hogy Kuba a ratifikációt megelőzően 1996. február 24-én három fegyvertelen civil repülőgépet 20 tengeri mérföldre a kubai parttól – nemzetközi légtérben – megtámadott. A kis repülőgépek pilótáinak fő célja a nyílt tengeren menekülő emigránsok kutatása és mentése volt, amelyet nem nézett jó szemmel a kubai kormány. Nem véletlenül, a két Cessna 337 típusú polgári repülőgépet a kubai légierő MiG 29-es vadászgépei lelőtték. Történt ez annak ellenére, hogy a kubai légiforgalmi irányítással a repülőgépek pilótái kapcsolatban álltak, a válaszjeladójuk működött, és a repülési szabályokat betartva a nemzetközi légtérben repültek. Ez az incidens négy ártatlan civil halálát okozta. A harmadik repülőgépnél – a felhőzet álcázó hatását kihasználva – sikerült elmenekülnie. A megmenekült repülőgép pilótái a tragikus eseményről a nyilvánosságot tájékoztatták, és a hozzátartozók bírósághoz fordultak [51].

Az ENSZ Biztonsági Tanácsa (SC) az eset kapcsán határozatot hozott és hangsúlyozta, hogy „elítéli a fegyver alkalmazását polgári légi jármű ellen, hiszen ez összeegyeztetetlen az emberiesség alapvető szabályaival, a nemzetközi szokásjogi szabályokkal, amelyet a Chicagói Egyezmény 3. alcikkébe, valamint az Egyezmény Függelékeiben rögzített Szabványok és Ajánlott gyakorlatokba foglaltak” [52]. A határozat egyértelművé teszi, hogy az egyhangúan elfogadott 3. alcikk hosszúra nyúló ratifikálási folyamatának oka abban is keresendő, hogy az ICAO Közgyűlése már eleve egy szokásjogi normát foglalt nemzetközi szabályba.

Az Egyesült Államok végül nem ratifikálta a módosítást, pedig az egyik legfőbb kezdeményezője, aktív szereplője volt a javaslat elkészítésének. Az általános indokolás a mai napig az, hogy az Egyesült Államok hatóságai nem ismerik el vitás kérdésekben a Nemzetközi Bíróság (ICJ) kizárólagos joghatóságát. Az Egyezmény szerint ugyanis, ha a vitát nem lehet tárgyalások útján rendezni, akkor a vitás kérdést az abban érintett bármelyik állam kérésére az ICAO Tanácsa dönti el. Ilyenkor a Szerződő Állam az ICAO Tanács határozata ellen fellebbezhet és eseti választottbírószághoz vagy a Nemzetközi Bírósághoz fordulhat [53].

POLGÁRI LÉGI JÁRMŰVEK ÁLLAMI HOVATARTOZÁSA

A polgári légi járművek honossága

Az állam által lajstromozott hajók és légi járművek fedélzetét az államterület részének kell tekinteni, amelyen a lobogó joga (*lex bandi*) alapján a lajstromozó államnak joghatósága van. A légi jármű ahhoz az államhoz tartozik – függetlenül a légi jármű tulajdonosi helyzetétől, a cég székhelyétől, vagy akár a parancsnokpilóta állampolgárságától – amelynek lajstromába be van jegyezve (17. cikk). A lajstromozás államát a felségjel és a nemzeti lobogó jelzi.

A légi jármű fedélzete így kvázi államterületnek számít, azaz a lajstromozó államnak a mozgó terület vonatkozásában joghatósága van. A lobogó joga nem területi felségjogot (mert a valóságban nem az állam területe), hanem meghatározott joghatóságot jelent [54]. A nyílt tenger felett (nemzetközi légtérben) például az államok területi felségjogot nem gyakorolhatnak, mert a nyílt tenger mindenki által szabadon használható terület, ezért e terület felett is a légi jármű (a hajó) fedélzetét annak az állam területének kell tekinteni, ahol regisztrálták [55]. Az államhatáron túli joghatóságnak a kiterjesztése lehetőséget biztosít arra, hogy az elsődlegesen alkalmazandó nemzetközi szabályok mellett a légi járművet regisztrált állam belső jogszabályai is az adott jogviszonyban maradéktalanul érvényesüljenek. A polgári repülőgépen menet közben történő állampolgársági és más jogviszonyt keletkeztető magánjogi cselekedetek (például születés, végrendelet írása, elhalálozás, szerződéskötés vagy esküvő) jogkövetkezményeit a lajstromozó állam nemzeti joga szabályozza [56]. Ez a kapcsoló tényező teremti meg a nemzetközi magánjogi tényállás és az alkalmazandó jogrendszer közötti összeköttetést. A légi jármű fedélzetén született személy esetében például, ha a szülő nemzeti joga a vér szerinti leszármazás (*jus sanguinis*) elvét követi, akkor a gyermek a születés tényénél és a törvény erejénél fogva (*ex lege*) a születési helyétől függetlenül alanyi jogon megörökli a szülő állampolgárságát (például a magyar jogrendben: „születésével a magyar állampolgár gyermeke magyar állampolgár”) [57]. Ha a belső jog a terület szerinti leszármazás (*jus soli*) elvét követi, akkor a gyermek a születés helye szerinti állam, ez esetben a légi járművet lajstromozó állam állampolgárságát szerzi meg függetlenül attól, hogy az édesanya mely államnak az állampolgára. Ez utóbbi, az angolszász jogban elterjedt elv egyre inkább háttérbe szorul, kiegészítő jellegűvé válik, miközben a kontinentális jogban érvényesülő vér szerinti leszármazás elve – elsősorban praktikussága következtében – válik elterjedtté.

A polgári légi járművek lajstromozása

A légi jármű tulajdonosi helyzetétől függetlenül ahhoz az államhoz tartozik, amelynek lajstromába bejegyezték. Már annak idején a Párizsi (1919), a Madridi (1926) és a Havannai (1928) Egyezmények is egyöntetűen szabályozták a tengerjogból átemelt intézményt, miszerint a légi jármű hovatarozását az az ország határozza meg, ahol azt regisztrálják.

A nemzetközi kereskedelmi szállításban mindig kiemelt fontossággal bírt, hogy a hajó vagy a légi jármű a bejegyző államtól védelmet kapjon. A hajó fedélzete annak az államnak a nemzeti joghatósága alá tartozik, amelynek a lobogója alatt a hajó fut. A lobogó joga alapvető elv és a tengeri hajózásban már évszázadok óta ismert és alkalmazandó. A lajstromozott vízi járművek esetén a lobogó államának joga az irányadó, de azokra a dolgokra ez a szabály nem vonatkozik, amelyek nem minősülnek poggyásznak és árunak (rakományak).

Kvázi úszó államterületnek minősül,

- a *hadihajó* fedélzete a teljes út során mindig, és ezt a különleges jogi helyzetét béke idején az idegen kikötőkben is megőrzi (a kikötéshez nyilvánvalóan előzetes engedély szükséges, de a hadihajó fedélzetére idegenek nem léphetnek, cselekményeket azon nem fogantatosíthatnak);
- a *kereskedelmi hajó* fedélzete a nyílt tengeren mindig, a parti tengeren pedig fő szabályként (kivéve, ha a parti állam békéjét vagy a parti tenger rendjét zavaró cselekmény miatt a parti állam joghatóságot gyakorol), de idegen kikötőben a parti állam területi felségjoga érvényesül, azaz a parti állam illetékes hatósága a hajót átvizsgálhatja, az árut lefoglalhatja, és jogsértés esetén szankcionálhat.

Lényeges, hogy az állam és a hajó között valóságos kapcsolatnak kell fennállnia [58]. Ebben az esetben a lobogó szerinti állam szabályait kell a szükséges változtatásokkal (*mutatis mutandis*) együtt alkalmazni. A *Saint Vincent & Grenadines kontra Guinea* ügyben [59] a Nemzetközi Tengerjogi Bíróság álláspontja szerint az ENSZ Tengerjogi Egyezmény (1982) célja a hajó és a lobogó szerinti állam között olyan egyedi kapcsolat megteremtése, amely a lobogó szerinti állam kötelezettségeinek hatékonyabb végrehajtásának az elősegítésére szolgál, és nem pedig egy olyan követelményrendszer létrehozására, amely egy másik állam számára esetleg megtámadhatósági alapul szolgál. A Chicagói Egyezmény ugyanakkor nem fogalmaz úgy, hogy az állam és az állami lajstromba bejegyzett légi jármű között valóságos kapcsolatnak kell fennállnia, mert ez az Egyezmény szellemiségéből és szabályaiból következik.

Vannak azonban olyan lobogó szerinti államok, amelyek a nemzetközi szabályokat nem tartják, vagy nem tartatják be szigorúan, hatóságaik a felügyeleti jogkör gyakorlásakor elnézőek. A lajstromozó állam elkötelezettségének ilyen fokú hiánya lehetővé tette a *szívességi lobogó* (*flags of convenience*) használatát és hozzájárult annak üzleti alapon történő gyakorlati elterjedéséhez. A világ legnagyobb tengeri flottája érdekes módon nem a nagy múltú hajós nemzeteké, hanem Libériáé, Panamáé és a Marshall-szigeteké. A világ kereskedelmi flottájának közel 40%-a ezekben az országokban van bejegyezve. A rendszerint külföldi tulajdonban levő hajók másik államban történő lajstromozásának az oka, hogy a lajstromozó állam jogszabályaiban a hajózásra vonatkozó feltételek minimálisak, a hajókra kivetett adók alacsonyak, az állam hatóságai a felügyeleti funkcióból eredő jogokkal nem mindig élnek, és a nemzetközi szabályokat sem mindig kényszerítik ki következetesen.

A szívességi lobogó, vagy más néven az „olcsó lobogó” népszerű használatának lényegében gazdasági előnyei vannak, de nem szabad figyelmen kívül hagyni az ezzel járó biztonsági és rendészeti kockázatokat. Pontosán ezért (bár kétségtelenül van kivétel) a szívességi megoldás nem terjedt el a légi közlekedés világában, mert a kettős lajstromozás tilalma, a szigorú engedélyezési eljárások, a nemzetközi követelményekre épülő nemzeti szabályozás, a szuverén légterekben történő nemzetközi szabványok szerinti üzemelés e gyakorlat követését nem teszi lehetővé. Például az Európai Unió tagállamai a repülésbiztonság maradéktalan érvényesítése és az ország légtérének védelme érdekében az Egyezmény előírásait nem teljesítő, a nemzetközi auditokon kiemelt repülésbiztonsági hiányossággal bíró tagállam lajstromozott repülőgépeit (az EU Bizottság által működési tilalom [60] alá vont légi járműveket) nem fogja területére beengedni. Ha mégis beengedné (például nem szerepel a feketelistán), akkor lehetősége van a fogadó állam hatóságának a biztonsági előírásoknak a repülőtéren történő ellenőrzésére, amely

lehetővé teszi, hogy a repülésbiztonsági szabályokat nem követő és azt veszélyeztető légi jármű a veszély megszűntetéséig felszállási tilalom alá kerüljön [61]. A repülési szabályok betartása a lajstromozó állam felelőssége, de az a tagállam, amelyik a szuverén nemzeti légterét rendelkezésre bocsátja, ugyancsak felelős, mert az Egyezmény előírja, hogy a tagállamok intézkedni kötelesek, hogy a területük felett repülő légi járművek, vagy a saját nemzeti felségjelüket viselő légi járművek bárhol tartózkodjanak is, megtartsák a repülésre és a repülési műveletekre vonatkozó helyi szabályokat és rendelkezéseket (12. cikk). A tagállamok kötelesek az Egyezményben időszakonként meghatározott rendelkezésekkel a helyi szabályokat a lehető legnagyobb mértékben összhangban tartani.

A légi jármű fedélzete, (ahogy a tanulmányban már említettem) annak az államnak a nemzeti joghatósága alá tartozik, amelynek lajstromába be van jegyezve.

Kvázi *repülő* államterületnek minősül:

- az *állami légi jármű* fedélzete a teljes út során mindig, és ezt a különleges jogi helyzetet béke idején az idegen repülőtereken is megőrzi;
- a *polgári légi jármű* fedélzete menet közben, az indulástól (a légi jármű ajtajának bezárásától) az érkezésig (ajtónyitásig). Nyílt tenger felett mindig. Idegen állam légterében pedig szinte mindig, kivéve, ha a repülőgép fedélzetén elkövetett bűncselekmény kihat a területi államra vagy ellene irányul; ha az elkövető vagy a sértett a területi állam polgára vagy lakosa, illetve ellene követték el; ha a légi járművek repülésére vagy a légtérben való mozgására vonatkozó a területi államban hatályos más előírást szegtek meg; ha a joghatóság gyakorlása szükséges ahhoz, hogy ez az állam teljesíthesse a nemzetközi egyezményből ráháruló kötelezettségeit [62]. A külföldi repülőtéren viszont már a fogadó állam területi felségjoga érvényesül, azaz a tagállam illetékes hatósága a légi járművet átkutathatja, a bizonyítványokat és egyéb okmányokat megvizsgálhatja, és jogsértés esetén szankcionálhat.

A bejegyzés megmásíthatatlan ténye (*fait accompli*) – a légi jármű tulajdonosi helyzetétől függetlenül – a lajstromozó államhoz tartozás jogkövetkezményével jár. A lajstromozás olyan jogi aktus, amelynek jogkövetkezménye mindenekelőtt a lajstromozó állam joghatósága, a repülőgéppel való rendelkezési jogosultság, és az azzal kapcsolatos állami felelősség viselése. Az Egyezmény számos cikke [63] és szinte minden légijogi egyezmény a lajstromozás tényéhez joghatásokat fűz. A Tokiói Egyezmény [64] például kimondja, hogy a légi jármű fedélzetén elkövetett bűncselekmény és egyéb cselekmény tekintetében a lajstromozó államnak joghatósága van, a Római Egyezmény [65] szerint a nyílt tengeren a hajó vagy a repülőgép fedélzetét azon állam területének kell tekinteni, ahol regisztrálták.

A légi járművek lajstromozása vagy a lajstromozás átírása az illető állam belső jogszabályai alapján történik (19. cikk). A lajstromozás részletszabályait a tagállamnak kell kidolgoznia az Egyezménynek a légi járművek felség- és lajstromjeleiről szóló 7. Függelékében foglaltakkal összhangban. A lajstromjeleket a légi járművön látható módon fel kell tüntetni, ezért a nemzetközi légi forgalomban közlekedő valamennyi légi járműnek viselnie kell az állam *felségjelét* és a *lajstromozási jelét* (20. cikk). A polgári gépek az országhoz tartozást kifejező felségjelet és a betűből vagy számból álló lajstromjelet viselik (míg a katonai légi járműveket a felségjel és a szériaszám azonosítja).

A felségjel használata egységes, ez azonosítja minden kétséget kizáróan a repülőgépet lajstromba vett államot. A felségjel megelőzi a lajstromjelet. A felségjel a nemzeti lobogó színjelzéséből és egy vagy két kezdőbetűből vagy szám keverékéből tevődik össze (például Németország felségjele D, Izrael 4X, Malajzia 9M, Csehország OK, Kanada C, Hollandia PH, Szingapúr PV, míg az Egyesült Államok felségjele pedig N). A Magyarországon bejegyzett repülőgépek felségjele a piros-fehér-zöld színjelzésből és minden esetben HA betűkkel kezdődik, amelyet kötőjellel elválasztva a repülőgép betű- vagy számkarakternyi lajstromjele követi. Például: HA-LHA (HA a magyar felségjel, LHA a repülőgép lajstromjele).

A lajstromjel kötődik az adott repülőgéphez, mivel fő funkciója, hogy a bejegyzett országon belül minden kétséget kizárólag azonosítja a légi járművet. [66] A felségjeleket az ICAO, a Nemzetközi Távközlési Egyesület (ITU) egyetértésével állapítja meg és azokat az Egyezmény 7. Függelékében teszi közzé. A lajstromjelet a lajstromozó állam szabályai alapján az állam illetékes légügyi hatósága adja. [Ha a tagállamok betűket (általában 3 vagy 4 betűt) használnak lajstromjelként, akkor olyan betűkombinációkat nem használhatnak, amelyek összetéveszthetők például a segélykérés általános SOS morzekódjával, vagy más hasonló sürgősségi vészjelzéssel. A betűknek díszítés nélküli latin nagybetűknek, vagy számok esetében díszítés nélküli arab számoknak kell lennie.]

Az Egyezmény lehetővé teszi, hogy két vagy több Szerződő Állam által közösen létrehozott légi közlekedési társaságnak, valamint nemzetközi üzemeltető szervezetnek közös jele legyen.

A multinacionális légitársaságok esetében a közös vállalkozásban részt vevő államok és légitársaságaik [a legismertebb Dánia, Norvégia és Svédország által közösen üzemeltetett SAS légitársaság] külön szerződésben rendezik, hogy mely légi járművek tekintetében, melyik Szerződő Állam vállalja a lajstromozó állam szerepét. A légi járművek közös jelet kapnak, amelyet az ICAO ad ki a nyilvántartó hatóság számára. A közös jel megelőzi a lajstromjelet. A közös jelet lajstromozó hatóság nem nemzeti alapon regisztrálja a nemzetközi üzemeltető szervezet légi járműveit. A nemzetközi üzemeltető szervezet minden légi járműve, melyet nem nemzeti alapon vettek lajstromba, így ugyanazt a közös jelet fogja viselni.

A kettős (többes) lajstromozás tiltott, [67] ezért a légi járművet egynél több államban nem szabad lajstromozni, de az egyik állam lajstromát a másik állam lajstromába át lehet írni (18. cikk). A tagállamok kérés esetén bármely más tagállamnak és magának az ICAO-nak tájékoztatást adnak az államukban lajstromozott bármely légi járműről, illetve annak tulajdoni helyzetéről. A tagállamok jelentést tesznek az ICAO-nak minden olyan adatról, amelyek az államukban lajstromozott, a nemzetközi forgalomban részt vevő légi jármű tulajdonjogáról és ellenőrzéséről rendelkezésre állnak. Az ICAO a megszerzett adatokat – kérelemre – a többi tagállam rendelkezésére bocsátja (21. cikk). Az ICAO Tanácsa a fenti általános szabályokat kiterjesztően értelmezve az ICAO történetében először speciális szabályt hozott. [68] A szabály értelmében a kérelem helyett a Tanács megkövetelte a tagállamoktól a havonként frissített, rendszeres és folyamatos adatszolgáltatást, amelyet az ICAO a hivatalos honlapján közzétesz. Ez a módszer biztosítja, hogy a lajstromozó állam és a légi jármű között a valóságos kapcsolat fennállása még nyilvánvalóbb és átláthatóbb legyen, így is csökkentve a szívdességi lobogó gyakorlati használatának a lehetőségét.

A polgári légi járművek lajstromozása bérlet, haszonbérlet esetében

A nemzetközi légifuvarozás gyakorlatában elfogadott, hogy a repülési jogosítványokkal rendelkező légi fuvarozó a nemzetközi kereskedelmi tevékenységet nem a saját tulajdonában álló légi járművel végzi, hanem bérbe veszi azt.

A bérlésnek két klasszikus példája ismert: a *dry-leasing* és a *wet-leasing*.

- a *dry-leasing* a légi járműnek *személyzet nélkül* történő olyan bérbeadása, ahol a légi jármű üzemeltetését a bérbevevő végzi, a saját Légi Üzembentartási Engedélye (AOC) alapján. (Az AOC jogosító engedély birtokában a légi jármű meghatározott kereskedelmi légiszállítási tevékenységet végezhet.) Ebben az alapesetben a bérbevevő a légi járművet személyzet nélkül bérlé és a légifuvarozási tevékenységet saját kereskedelmi fennhatósága alatt végzi, saját azonosító jelének (járatszám) és forgalmi jogainak a felhasználásával. Ilyenkor a bérlet időtartamára a bérbevevő államának a lajstromába kerül a légi jármű és a légi jármű üzembentartásához hatósági engedélyre van szükség. A Légi Üzembentartási Engedélyt [69] a légügyi hatóság adja ki. A légi vállalkozás kérelmére a légügyi hatóság bizonyítványt állít ki arról, hogy a vállalkozás rendelkezik azokkal a szakmai képességekkel, szervezeti és igazgatási háttérrel, amelynek révén a jogszabályi rendelkezéseknek megfelelően biztosítani (szervezni, irányítani és felügyelni) tudja a bizonyítványban meghatározott tevékenységi körök biztonságos folytatását;
- a *wet-leasing* a légi járműnek *személyzettel* vagy *a személyzet egy részével* együtt történő olyan bérbeadása, ahol a légi jármű üzemeltetését a bérbeadó végzi, a saját Légi Üzembentartási Engedélye (AOC) alapján. Ebben az esetben a bérbeadó a légi járművet személyzettel (műszaki karbantartással, biztosítással) együtt bocsátja rendelkezésre a bérbevevőnek. A bérbeadó a légifuvarozási tevékenységet a saját kereskedelmi fennhatósága alatt végzi, az azonosító jelének (járatszám) és forgalmi jogainak a felhasználásával [70]. (Ez a konstrukció a részszemélyzettel történő bérlésre, az ún. *damp-leasing* esetére is vonatkozik. Ilyenkor általában a pilótákat a bérbeadó, míg a légiutas-kísérőket a bérlő biztosítja.)

A kölcsönbérleti szerződés lehetővé teszi azt is, hogy légi járműveket külföldre úgy adjanak tartós használatba, hogy a légi jármű a bérbeadó állam lajstromában marad. Ilyenkor a két érintett ország légügyi hatósága külön megállapodik arról, hogy a bérbevevő államának légügyi hatósága gyakorolja – teljes egészében vagy részben – a lajstromozó állam jogait és viselje annak kötelezettségeit. A lajstromozó (bejegyző) állam az átadott, delegált hatáskörök tekintetében mentesül a felelősség alól (83. alcikk). A *wet-leasing* konstrukció (személyzettel együtt történő bérlet és üzemelés) esetén akkor kerülhet sor a két légügyi – a lajstromozó és az üzembentartó felügyeletét ellátó – hatóságok közötti megállapodásra, ha a bérbevevő (üzembentartó) hívójelének, járatszámának és kereskedelmi jogainak a felhasználásával történik az üzemeltetés. A légi jármű tehát a bérbeadó lajstromában van, miközben az üzemeltetést a bérbevevő államának légügyi hatósága felügyeli. Az átadás nem automatikusan megy végbe, mert feltétele a felek közötti írásos megállapodás létrejötte és a szerződés ICAO Tanácsa általi nyilvántartásba vétele, majd közzététele, vagy a szerződő tagállamoknak a többi ország hatóságai felé történő közvetlen értesítése. A jogalkotó a szabály alkalmazását kiterjesztette a közösen üzemeltető szervezetek légitársaságaira is [77. cikk, 83. alcikk c)].

Az Egyezmény első érdemi módosítása maga a 83. alcikk [71] volt, amely közel húsz év szakmai előkészítő munkát igényelt. Ennek ellenére az ICAO Közgyűlése által 1980-ban meghozott, majd 17 év múlva életbe lépett szabály alapján csak elenyésző számú hatósági megállapodás született [72].

A POLGÁRI LÉGI JÁRMŰVEK FEDÉLZETÉN TARTOTT DOKUMENTÁCIÓ

A tagállamok megfelelő hatóságai jogosultak más Szerződő Állam légi járművét leszálláskor vagy felszálláskor indokolatlan késedelem előidézése nélkül *átkutatni*, valamint az Egyezményben meghatározott bizonyítványokat és egyéb okmányokat *megvizsgálni* (16. cikk). A jogalkotó nem írja elő kötelezettségként az okmányok megvizsgálását, hanem a vizsgálatot végző tagállam hatóságai számára biztosítja ennek lehetőségét. A kérdés az, hogy vajon meddig terjed – az indokolatlan késés elkerülésének fizikai korlátain túl – ez a jogosultság? Az ICAO Tanácsa határozatában [73] a vizsgálatot kiterjesztően értelmezi, és megengedi az Egyezményben az alábbiakban felsorolt bizonyítványok, okmányok ellenőrzésén túl minden olyan üzemeltetéssel kapcsolatos dokumentáció, eljárás, valamint a légi járművel kapcsolatos műszaki követelmény, körülmény megvizsgálását, amely összhangban van az Egyezménnyel és annak Függetlékeivel, azaz repülésbiztonsági szempontból indokolt.

A légi jármű parancsnokának a felelőssége és egyben kötelezettsége, hogy a járat indulása előtt meggyőződjön arról, hogy az okmányok a fedélzeten vannak-e, majd vizsgálat esetén azokat az illetékes hatóság szakembereinek megmutassa.

A nemzetközi légijáratot lebonyolító légi járművek fedélzetén az Egyezmény a következő okmányok meglétét követeli meg:

a) lajstromozási bizonyítvány: minden légi járműnek rendelkeznie kell ilyen bizonyítvánnyal, amely a bejegyző országon belül teszi lehetővé a légi jármű pontos azonosítását;

b) légi alkalmassági bizonyítvány [74]: A nemzetközi légi forgalomban részt vevő légi járművet a lajstromozó állam által kiadott, illetőleg érvényesített légi alkalmassági bizonyítvánnyal kell ellátni. Légi alkalmassági bizonyítvány nélkül egyetlen légi jármű sem tartható üzemben, nem végezhet repülést, csak egy darab tárgynak, mozgó eszköznek minősül. A légi alkalmassági bizonyítvány – a légi jármű típus-alkalmassági bizonyítványa mellett – igazolja a légi jármű légi közlekedésre való alkalmasságát. A hatóság a légi alkalmassági bizonyítványt előzetes szemle, földi és szükség esetén légi üzemképesség ellenőrzése, továbbá olyan okmányok alapján állítja ki, amelyből megállapítható, hogy a légi jármű a légi alkalmassági előírásoknak és a repülésbiztonsági követelményeknek megfelel;

c) szakszolgálati engedély [75] a személyzet minden tagja számára: Az ICAO a szakszolgálati engedély megszerzését az Egyezmény szakszemélyzet jogosításáról szóló 1. Függetlékében meghatározott szigorú feltételrendszer teljesítéséhez köti. Az Egyezmény szakszolgálati engedély megszerzését írja elő a pilóta, a hajózó navigátor, a hajózó mérnök, a légi forgalmi irányító, a repülésüzemi tervező tiszt és a légiforgalmi állomásüzemeltető munkavégzéséhez. A nemzetközi légi forgalomban részt vevő légi jármű pilótáit és a személyzet többi tagját a lajstromozó állam által kiadott, illetve érvényesített szakszolgálati engedéllyel vagy bizonyítvánnyal kell ellátni. A tagállamok fenntartják maguknak a jogot, hogy saját területük feletti repülés szempontjából megtagadják az olyan szakszolgálati engedély vagy

bizonyítvány elismerését, amelyet az illető állam állampolgára számára valamely másik Szerződő Állam állított ki (32. cikk);

d) úti napló (fedélzeti napló), amely tartalmazza a légi jármű, a személyzet és a repülések adatait (34. cikk);

e) rádióval felszerelt légi járműnél a rádióállomás engedélye [76]: a tagállamok légi járműve a többi Szerződő Állam területén, illetőleg területe fölött rádióadó-berendezést olyan engedély alapján szállíthat, amelynek értelmében a rádióadó-berendezést szabad a légi járműbe szerelni és üzemeltetni. Az engedélyt a lajstromozó állam illetékes hatósága adja ki. Az átrepült területen a rádióadó-berendezés használata az illető Szerződő Állam szabályainak megfelelően történik [30. cikk a)]. A rádióadó-berendezést a személyzetnek azok a tagjai használhatják, akik erre a lajstromozó állam illetékes hatóságától külön engedélyt kaptak [30. cikk b)]. Ez utóbbi szabályból az következik, hogy az utas nem használhatja mobiltelefont a levegőben, ezt azonban a technikai fejlődés felülírta. Az ICAO tagállamai 1992-ben határozatot hoztak arról, hogy hatósági engedéllyel nem rendelkező személyek (az utasok) is használhatnak telefonbeszélgetések lebonyolításához ilyen jellegű eszközöket, a megfelelő szabályok betartása mellett;

f) utasok szállítása esetén jegyzék az utasok nevééről, felszállási és rendeltetési helyéről;

g) poggyász és áru szállítása esetén részletes kimutatás és bevallás a poggyászáról, illetve az áuról (29. cikk).

Idővel újabb dokumentumok fedélzetén tartása vált indokolttá, de a tagállamok az Egyezmény módosítását nem tartották célszerűnek, így ezen követelmények az Egyezmény Függlékeiben kerültek szabályozásra. A gyakorlatban a repülőgép fedélzetén szükséges tartani még a biztosítási szerződések kivonatait, a zajbizonyítványt, a kiszolgáló műszaki szervezet által kiállított nyilatkozatot a légi jármű műszaki alkalmasságáról, a repülőgépen található esetleges „elengedett” hibák jegyzékét és a repülőgép időszakonkénti rágcsálómentesítésének az igazolását. Járványok idején az Egészségügyi Világszervezet (WHO) megkövetelheti a légi járművek fertőtlenítését és az ennek tényét igazoló okmány bemutatását.

A lajstromozó tagállam által kiadott, illetve érvényesített légi alkalmassági bizonyítványokat, szakszolgálati engedélyeket és más bizonyítványokat a tagállamok érvényesnek ismerik el. Ennek az a feltétele, hogy a bizonyítványok és engedélyek kiadására, illetve érvényesítésére irányadó alapkövetelmények érvényesek az azt a legkisebb mértékűt, amelyet az ICAO időszakonként meghatároz (33. cikk). Amennyiben az érvényes nemzetközi szabvány által megkövetelt feltételek nem egyeznek a tagállam hatósága által kiállított légi alkalmassági bizonyítványban vagy szakszolgálati engedélyben foglaltakkal, azaz az okiratok úgy kerültek kiállításra, hogy nem minden tekintetben feleltek meg az ICAO előírásainak, akkor ezeket az eltéréseket záradékban kell megjelölni. Légi alkalmassági bizonyítvány esetén csatolni kell az adatoknak a teljes jegyzékét, míg a szakszolgálati engedélyek esetében az engedélyen vagy annak mellékletén kell felsorolni mindazokat az adatokat, amelyek tekintetében a különbségek fennállnak [39. cikk a)–b)]. Az ilyen záradékolt bizonyítvánnyal illetve engedéllyel ellátott légi jármű, valamint személyzet csak abban az esetben vehet részt a nemzetközi légi forgalomban, ha arra engedélyt kapott attól az államtól, amelynek területére berepülni szándékozik (40. cikk).

E jog alkalmazására a gyakorlatban azonban nem kerül sor, mert az eltérésekre válaszul adható szankciók több alapvető problémára világítanak rá. A bizonyítványok eltéréseiből adódó helyzetet ugyanis nem lehet kétoldalúan hatékonyan és átláthatóan kezelni. Az ICAO-nak ezért nem állt érdekében, hogy az ilyen jellegű vélt vagy valós átmeneti mentességek miatt megakadjon a nemzetközi légi forgalom két tagállam között, de azt sem nézheti jó szemmel, hogy a meglévő eltérések ellenére két baráti ország között a kereskedelmi légifuvarozás tovább folytatódjon. Az ICAO érdeke, hogy ezek az eltérések a fékek és ellensúlyok rendszerében végső megoldásként kijavításra, és ne szankcionálásra kerüljenek. Az ICAO szabályaitól az Egyezmény értelmében el lehet térni, akár csak a fenti esetben is, de hangsúlyozottan csak akkor, ha az eltéréseket az ICAO többoldalú repülésbiztonsági rendszerében adminisztrálják (bejelentik), majd azokat meghatározott időn belül kijavítják és végrehajtják.

ÖSSZEFOGLALÁS

A légi jármű fogalmi körébe szinte minden repülésre alkalmas eszköz beletartozik, így amikor légi járműről beszélünk a hagyományos értelemben vett széles- és keskenytörzsű utasszállító repülőgépeken túl a helikoptereket, a ballonokat, a léghajókat, a vitorlázó repülőgépeket, de még a papírsárkányokat is megemlíthetjük. A tág értelmezés azonban a nemzetközi polgári légi közlekedés vonatkozásában szűken értelmezendő, mert utasokat, poggyászt, árut és postát kereskedelmi célból, díjazás fejében lényegében csak a közforgalmi repülésben szolgáló repülőgépekkel végeznek. A Chicagói Egyezmény kifejezetten a nemzetközi forgalomban szolgáló polgári légi járművekre ír elő szabályokat. Ezek a polgári légi járművek nemcsak tevékenységük jellegéből adódóan, de az eltérő szabályok tekintetében is különböznek az állami légi járművektől.

A légi jármű lényegében a lajstromozás tényénél fogva ahhoz az államhoz tartozik, amelynek lajstromába be van jegyezve. A lajstromozás államát a felségjel és a nemzeti lobogó jelzi. A lobogó joga nem területi felségjogot (mert a valóságban nem az állam területe), hanem meghatározott joghatóságot jelent. A légi jármű fedélzete így kvázi repülő államterületnek számít, azaz a lajstromozó államnak a mozgó terület vonatkozásában joghatósága van. A polgári légi járművön menet közben történő állampolgársági és más jogviszonyt keletkeztető magánjogi cselekedetek (például születés, végrendelet írása, elhalálozás, szerződés-kötés vagy esküvő) jogkövetkezményeit a lajstromozó állam nemzeti joga szabályozza. Ez a kapcsoló tényező teremt meg a nemzetközi magánjogi tényállás és az alkalmazandó jogrendszer közötti összeköttetést.

A Chicagói Egyezmény csak a keretszabályokat adja a nemzetközi polgári repüléssel kapcsolatos szabályrendszernek. A szabályokat, mint például a polgári légi jármű elleni elfogás, a légi jármű fedélzetén tartott dokumentáció, vagy a lajstromozási eljárás részletes szabályait a tagállamoknak a nemzeti jogba kell beépíteniük és ott részletesen ki kell dolgozniuk. Ezen a nemzetközi joggal harmonizált szabályok meglétét és a gyakorlatban történő érvényesülését a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (ICAO) a repülésbiztonsági és légi közlekedés-védelmi auditjain állandó jelleggel ellenőrzi és ezen mechanizmuson keresztül következetesen számon kéri.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] CRS Report for Congress: China–US Aircraft Collision Incident of April 2001: Assessments and Policy Implications. Order Code RL30946, 10/09/2001. 1–21. o.
- [2] 2015. május 26-án a kínai kormány nyilvánosságra hozta stratégiai Fehér Könyvét, amelyben kijelentette, hogy a parti tenger helyett a nyílt tengeri oltalmazást helyezi előtérbe. Az anyagban Kína nyomatékosította, hogy a „szuverenitás szemszögéből Kína fejlesztései és építkezései a szigetein semmilyen sem különböznek azoktól az építkezésektől, melyek az ország belső területein zajlanak”, továbbá hangsúlyozta, hogy a „dél-tengeri ügyekben a külső felek beavatkozása provokatív jellegűnek minősül”. A szigetek sorsa komoly feszültség a térségben, ráadásul a vitatott Spratly-szigeteken Kína nagyszabású építkezésbe és új repülőtér létrehozásába kezdett. Az építkezés felett az amerikai haditengerészet járőrgépe, fedélzetén a CNN tévéstábjával 2015 májusában átrepült, miközben a kínaiak számtalanszor távozásra szólították fel a légeret „sértő” repülőgépet. ZORD Gábor László: A nyílt tengeren is tényező lett Kína. Magyar Nemzet, (2015) 122., 16. o.
- [3] A világon elsőként az Egyesült Államok már a II. világháború után – az egyéni vagy a kollektív önvédelem természetes jogára hivatkozva, nemzetbiztonsági célokból vezérelve létrehozta Alaszka partjai közelében (380 tengeri mérföldig kiterjesztve) a Légvédelmi Azonosítási Zónáját (ADIZ). Az ADIZ átmeneti zóna, lényegében az állam által egyoldalúan (unilaterálisan) a nemzeti légtér oldalhatárának a parttól számított 200 tengeri mérföldig történő kiterjesztése, amely olyan köztes intézmény a nemzetközi és a nemzeti légtér határán, amelyet a nemzetközi jog nem tilt. Az ADIZ elsősorban olyan területeken kerül kijelölésre, ahol nagy kiterjedésű vízfelület található a szuverén állam partjaihoz közel. Ugyanakkor hangsúlyozni szükséges, hogy az állam nem a szuverenitás igényével lép fel az érintett nyílt tenger feletti légtérben, hanem csak megfigyelési, azonosítási jogot követel magának. BUTLER, J. Richard: Sovereignty and Protective Zones in Space and Appropriate Command and Control of Assets. Research Report, AU/ACSC/034/04, 2001. 15. o.
- [4] Malone, L. James: The United States and the Law of the Sea after UNCLOS III. Law and Contemporary Problems, 46. (1983) 2., 29–36. o.
- [5] Kukis, Mark – ARMS, Katherine: Bush to China: Return Plane, Crew. United Press International, 2 April, 2001.
- [6] ICAO Doc 7300.
- [7] Cheng, Bin – AUSTIN, R. H. F.: Air law. In Bos, Maarten (ed.): The Present State of International Law and /Other Essays. The Netherlands, 1973. The Air Cushion Vehicles, 183. o.
- [8] Goedhuis, D.: The International Law of Outer Space. Recueil Des Cours de l’Académie de Droit International, 113. (1964) 3., 55. o.
- [9] Moys Péter: Nemzetközi légijog. Budapest, 2006. 18. o., 59–61. o.
- [10] Palik Máttyás: Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek – A pilóta nélküli repülés rövid története. Budapest, 2013. 25–64. o.
- [11] A repülőgépet robotberendezés kormányozta rádió távirányítás segítségével. A gépen 11 fő tartózkodott vég-szükség és ellenőrzés céljából, de nem volt szükség a fizikai beavatkozásra. Az 1930-as évek közepétől több eredményes repülés történt, amelynek egyik mérföldköve az óceán átrepülése volt. A technikai fejlődés lehetővé tette már akkoriban is, hogy egy repülőről más repülőgépek irányítását távvezéreljék. GÁSPÁR László: Pilóta nélküli repülőgépek. Élet és Tudomány, (1948) 7., 195–197. o.
- [12] Nemzetközi szinten az ICAO elkezdte a szabályozói környezet kialakítását, és 2011. március 11-én kiadta a Cir 328-AN/190 számú körlevelét. 2015 februárjában az ICAO megjelentette a Távirányított Repülőgép Rendszerek (RPAS) kézikönyvet, amely az UAV-k továbbfejlesztett alkalmazási területei keretszabályait és eljárási módosításait írja le. Az ICAO 39. Közgyűlésén (2016) elfogadta a tagállami szabályozások figyelembevétele mellett egy globális szabályozás elkészítését. ICAO Doc 10019.
- [13] A pilóta nélküli légi járművön kívül ez az UAS-rendszer már a technika működését biztosító környezetet: a földi irányító állomást, a kommunikációs csatornákat, a műszaki felkészítő és karbantartó rendszert, az indító és a visszaérkezést biztosító és magát a rendszert vezérlő, irányító, kiszolgáló embert is magába foglalja. Makay Imre: Bevezető. In Palik Máttyás: Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek – A pilóta nélküli repülés rövid története. Budapest, 2013. 11–23. o.
- [14] Palik Máttyás: A pilóta nélküli légi járművek hazai szabályozói környezete fejlesztésre irányuló K+F projekt bemutatása. Repüléstudományi Közlemények, (2012) 2., 486. o.
- [15] A Nemzetközi Vöröskereszt egészségügyi légi járművei általában katonai felhasználás alatt üzemelnek. Békeidőben a katonai eljárások és szabályok alapján végzik a repülési feladatokat. Találunk azonban polgári vöröskeresztes légi járműveket, amelyekre az Egyezmény szabályai az irányadóak, de háború esetén ezek a légi jár-

- művek nem élveznek speciális védelmet. [A hadrakelt fegyveres erők sebesültjei és betegei helyzetének javítására (I. Genfi Egyezmény, 1949. 36–37. cikkek); A tengeri haderők sebesültjei, betegei és hajótöröttjei helyzetének javítására (II. Genfi Egyezmény, 1949. 39–40. cikkek); A polgári lakosság háború idején való védelmére (IV. Genfi Egyezmény, 1949. 22. cikk).]
- [16] Bécsi szerződés a diplomáciai kapcsolatokról (1961), 27. cikk (7.), 1965. évi 22. tvr.
- [17] Szabó Miklós: Terrorcselekmények elhárításának időszerű kérdései, különös figyelemmel a polgári repülésvédelemre. PhD-értekezés. Budapest, 2008. 18. o.
- [18] ICAO Legal Committee/29 Session – WP/2–1, Attachment 1, 1994. 11–12. o.
- [19] Jó példa erre az európai együttműködés, amelyben az európai légi forgalom biztonságáért és irányításáért felelős kormányközi szervezet, az EUROCONTROL kiemelt szerepet játszik az összehangolás sikeres megteremtésében, amelynek Ideiglenes Tanácsa az Egyezmény 3. cikkével összhangban a légiforgalmi irányítás egységesebbé tétele céljából definiálta (hangsúlyozottan légiforgalmi irányítási szempontok szerint kategorizáltan) az állami légi jármű fogalmát:
- a katonai lajstromba vett, vagy polgári nyilvántartásban azonosított repülőgépek, amelyeket katonai céllal tartanak, állami légi járműnek minősülnek;
 - a polgári lajstromba vett repülőgépek, amelyeket katonai, vám- és rendőri szervek használnak, állami légi járműnek minősülnek;
 - a polgári lajstromba vett repülőgépek, amelyeket az állam nem katonai, vám- és rendőri, hanem egyéb állami célokra használ, polgári légi járműnek minősülnek.
- EUROCONTROL Decision of the Provisional Council – Session 11 on 12 July, 2001, Principle 1.
- [20] A Nemzetközi Bíróság (ICJ) szerint ez a szabály az ENSZ Alapokmány egyik sarokköve, amely jus cogens normaként kezelendő. *Democratic Republic of Congo v. Uganda case*, ICJ Judgment, General List 116, 148., 19/12/2005. 59. o.
- [21] Kajtár Gábor: A nem állami szereplők elleni önvédelem a nemzetközi jogban. Budapest, 2015. 338. o.
- [22] Kajtár Gábor: Az egyéni és kollektív önvédelem joga. In Kende Tamás, Nagy Boldizsár, Sonnavend Pál, Valki László (szerk.): *Nemzetközi Jog*. Budapest, 2014. 742. o.
- [23] ENSZ Alapokmány VII. fejezet, eljárás a béke veszélyeztetése, a béke megszegése és a támadó cselekmények esetében, 51. cikk, 1956. évi I. törvény; ENSZ Biztonsági Tanácsának a 748. határozata (1992. január 21.), amelyet a tanács a líbiai kormánnyal szemben, a nemzetközi béke és biztonság megóvása céljából hozott (www.un.org/docs/sc.html).
- [24] Kajtár Gábor: *The Use of Force against ISIL in Iraq and Syria – A Legal Battlefield*. *Wisconsin International Law Journal*, 34. (2017) 3., 572. o.; UN Security Council Resolution 1368, 4370th meeting, 12/09/2001.
- [25] Kardos Gábor: A nemzetközi jog a hidegháború után. Grotius, (2007) 4. o.
- [26] *Nicaragua v. United States of America, Military and Paramilitary Activities in and against Nicaragua*, Merits, Judgement, ICJ Reports 14. 1986, para. 195.
- [27] A szükséghelyzet az adott állam egyetlen eszköze arra, hogy valamely lényegbevágó érdekét egy súlyos és küszöbön álló veszélytől megóvja úgy, hogy e cselekedet nem csorbíthatja komolyan mások (államok, nemzetközi közösség) lényegbevágó érdekeit. Szükséghelyzetre, mint jogellenességet kizáró okra az állam semmilyen esetben nem hivatkozhat, ha az állam közrehatott a végveszély kialakulásában és nemzetközi kötelezettség a szükséghelyzet alkalmazását kizárja. A szükséghelyzet jus cogens normát megszegő magatartás kimentésére nem irányulhat. Nagy Boldizsár: *A nemzetközi jog érvényesülése és érvényesítése*. Előadás az ELTE Állam- és Jogtudományi Karán. Budapest, 2014.; Nagy Boldizsár, Jeney Petra (szerk.): *Nemzetközi Jogi Olvasókönyv*. Budapest, 2002. 531. o.
- [28] A nyílt tenger két részét összekötő Korfu-szoroson áthaladó brit hadihajókra az albán katonák ágyútűzét nyitottak. Az incidensben a támadást szenvedett brit hajókon 44 katona vesztette életét és további 42 katona megsebesült. Később a brit hadihajók visszatértek és a flotta két hajója a szorosban aknára futott. A robbanások komoly károkat okoztak, de emberi életet nem követeltek. A Nemzetközi Bíróság ítéletében elmarasztalta az albán államot, mert a szorosokon történő békés áthaladás joga béke idején a hadihajókat is megilleti, s ehhez a parti állam előzetes hozzájárulása nem szükséges. *United Kingdom v. Albania (Corfu Channel Case)*, Judgement of April 9, 1949, ICJ 4 Reports 22.
- [29] Cheng, Bin: *The Destruction of KAL Flight KE 007 and Article 3 bis of the Chicago Convention*. In *STORM van 's Gravesande, J.W.E. – van der Veen Vonk, A. (eds): Air worthy. Liber amicorum honouring professor Dr. I.H. Ph. DIEDERIKS-VERSCHOOR*. Denventer–Boston, 1985. 47. o.

- [30] A kínzások elkövetői, úgymint a kalózok és az emberkereskedők mindegyike hostis humani generis, azaz az emberiség ellensége. *Filartiga v. Pena-Irala*, 630 F.2d 876 US Court of Appeals, Second Circuit, No. 191, Docket 79–6090. 19. o.
- [31] Kajtár Gábor: A terrorizmus elleni önvédelem a XXI. században. *Kül-Világ*, (2011) 1–2., 2. o.
- [32] UNGA Resolution 927, Question of the safety of commercial aircraft flying in the vicinity of, or inadvertently crossing, international frontiers. UN General Assembly Official Records, 10th Sess. Supp. No. 19 at 14/12/1955.
- [33] ICAO Circular 50-AN/45: Aircraft Accident Digest, No. 7, No. 35, 146–159. o.
- [34] *Israel v. Bulgaria*, Aerial incident of 27 July, 1955. General List No. 35 – Judgment 26 May, 1959; ICAO Council Working Paper/5764.
- [35] ICAO Council Working Paper/5764, Report concerning the Libyan Arab Boeing 727-224, 5A-DAH (Sinai, 21 February, 1973), 1/05/1973.
- [36] *Islamic Republic of Iran v. United States of America* – ICJ (Case Concerning the Aerial Incident of July 3, 1988), 2001.
- [37] A műhold fedélzeti energiaellátását biztosító erőforrás egy – urán-235 izotóppal dúsított 20 kilogramnyi urán alkalmazásával működő – atomreaktor volt, amelyből származó radionuklidok 25%-a a Föld felszínére hullott. A közhiedelemmel szemben nem ez volt az első ilyen eset. 1964-ben egy amerikai haditengerészeti műholdnak az Indiai-óceánba zuhanásakor radioaktív plutónium 238 szabadult fel. HAANAPPEL, P. Peter: *The Law and Policy of Air Space and Outer Space*. 99. o.; SOMLAI János – TARJÁN Sándor – KANYÁR Béla: „A bomlás virágai.” *Radioaktív sugárzások és környezetünk*. Budapest, 2000. 30. o.; GOROVE, Stephen: *Cosmos 954: Issues of Law and Policy*. *Journal of Space Law*, 6. (1978) 2., 137–146. o.
- [38] Mullany, J. Nicholas: *The Legal Implications of Soviet Union’s Assertions Concerning the Downing of KAL flight 707*. *Western Australian Law Review*, 19. (1989) 430. o.
- [39] Szabó Miklós: *Polgári repülőbalesetek és katasztrófák Vörös Könyve (1960–1989)*. Pécs, 2006. 254. o.
- [40] Ernszt Ildikó: *A nemzetközi légi közlekedés védelme*. Károli Gáspár Református Egyetem ÁJK, Budapest, 2010. 74. o.
- [41] Napjainkban kétféle fekete doboz (FDR) van egyidejűleg a fedélzeten. Az egyik fekete doboz a repülés végrehajtása során a pilótakabinban (cockpit) tartózkodó összes személy hangját, valamint a zajokat – általában a repülési idő utolsó 120 percét – veszi fel, míg a másik a légi jármű állapotát és mozgását hivatott rögzíteni. Csak legenda, hogy a „fekete” doboz fekete, a valóságban narancssárga vagy piros színűre festik a könnyebb megtalálhatóság érdekében. A fekete doboz valójában piros. www.index.hu (2013.11.11.)
- [42] ICAO Report – Appendix H, *Interception Procedures Issued by USSR*. 1993.
- [43] *Destruction of Korean Air Lines of Boeing 747-200 on 31 August, 1983*. Report of the completion of the ICAO fact-finding investigation, June 1993.
- [44] Szűcs Ádám Imre: *KAL 007 – Agresszió vagy határincidens? (ELTE Bibó István Szakkollégiumi Külügyi Napok, Aktuális kérdések a nemzetközi jog és külpolitika területén.)* Budapest, 2012. 36–37. o.
- [45] A légiforgalmi térképek minden releváns információt tartalmaznak a repülés pontos és biztonságos végrehajtáshoz. Az Egyezmény légiforgalmi térképekről szóló 4. Függelékének szabványai 17 fféle, a légiforgalmi térképekkel szemben támasztott követelményeket tartalmaznak. A nemzeti légiforgalmi szolgáltatók által kiadott térképeken részletesen szerepelnek a kijelölt légi útvonalak a tiltott légterekkel együtt, a repülőterek és az országhatárok, továbbá a navigációs és rádióberendezések adatai és a körzetben használt rádiófrekvenciák. In *Re Korean Air Lines Disaster of Sept. 1, 1983*. 597 F. Supp. 619 (D.D.C. 1984), June 26, 1984.
- [46] Háy György: *Légibalesetek pilóta szemmel I*. 157. o.; Leich, M. N.: *Destruction of Korean Airliner – Action by International Organizations*. *American Journal of International Law*, 78. (1984) 244–245. o.
- [47] Az Air India (AIC) 182-es járatának az 1985. évi felrobbantása után két év telt el, amire az ICAO kiadta új szabványait az utaspoggyász-egyeztetésre, míg a régóta ismert rádióbombák és plasztik robbanóanyagok által okozott fenyegetésre csak a Pan Am (PAA) 103-as járatának a katasztrófája (1988) után tett határozott lépéseket. A légi közlekedés biztonsága és a terrorizmus címmel jelentés az Egyesült Államok Elnökének. Washington D.C., 1995. május 10. 25. o.
- [48] Sulyok Gábor: *A terrorcselekmény elkövetéséhez használt polgári légi jármű lelövésének nemzetközi jogi és alkotmányjogi megítélése*. *Fundamentum*, (2005) 3., 30. o.
- [49] A Nemzetközi Bíróság (ICJ) 1986. június 27-én a Nicaragua kontra Egyesült Államok perben megerősítette az arányosság elvét. ICJ – Summary of the judgement, XI. 1. The prohibition of the use of force and the right of self-defence, paras. 227–238.
- [50] The White House: Statement by the principal deputy press secretary to the President, 16 September, 1983.

- [51] Armando Alejandro Jr. and Others v. Cuba, 11.589, Report No. 86/99, OEA/Ser.L/V/II.106 Doc. 3 rev. at 586, 1999.
- [52] Ernszt Ildikó: A nemzetközi légi közlekedés védelme. Károli Gáspár Református Egyetem ÁJK, Budapest, 2010. 74–75. o.; UN Security Council Resolution 1067, 3683rd meeting, 26 July, 1996.
- [53] Chicagói Egyezmény, XVIII. fejezet, A vitás kérdések rendezése, 84. cikk.
- [54] Hargitai József: Nemzetközi jog a gyakorlatban. Budapest, 2008. 295–296. o.
- [55] Római Egyezmény a külföldi légi jármű által harmadik félnek a földön okozott kárról (1952), V. fejezet, 23. cikk, ICAO Doc 7364.
- [56] Syllabus Public International and European Air Law. International Institute of Air and Space Law. Faculty of Law, Leiden University, 2016. 1.5.5.2., 89. o.
- [57] Magyarország Alaptörvénye, 2011. április 25., Alapvetés, G. cikk, 1.
- [58] United Nations Convention on the Law of the Sea UNCLOS – Nationality of the ships, Part VII. High Seas, para. 91. 1.
- [59] M/V „SAIGA” case, Saint Vincent and Grenadine v. Guinea, ITLOS, No. 2, 1 July, 1999, paras. 62–66.
- [60] Az Európai Parlament és a Tanács 2111/2005/EK rendelete a Közösségen belül működési tilalom alá tartozó légi fuvarozók közösségi listájának elfogadásáról és az üzemeltető kiléte tekintetében a légi közlekedés utasainak tájékoztatásáról, valamint a 2004/36/EK irányelv 9. cikkének hatályon kívül helyezéséről, HL L 344., 2005.12.27., 15. o.
- [61] Az Európai Parlament és a Tanács 216/2008/EK Rendelete a polgári repülés területén közös szabályokról és az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség (EASA) létrehozásáról, valamint a 91/670/EGK tanácsi irányelv, az 1592/2002/EK rendelet és a 2004/36/EK irányelv hatályon kívül helyezéséről, HL L 79., 2008.03.19., 9–10. cikkek, 25–27. o.
- [62] A légi járművek fedélzetén elkövetett bűncselekményekről és egyéb cselekményekről szóló Tokiói Egyezmény, 1971. évi 24. tvr., I. fejezet, Az Egyezmény hatálya, 4. cikk.; ICAO Doc 8364.
- [63] Chicagói Egyezmény 12., 25., 26., 31–33. cikkek.
- [64] A légi járművek fedélzetén elkövetett bűncselekményekről és egyéb cselekményekről szóló Tokiói Egyezmény, 1971. évi 24. tvr., II. fejezet, Joghatalóság, 3. cikk.; ICAO Doc 8364.
- [65] Kárfelelősség a külföldi légi jármű által harmadik félnek okozott károkért (1952), ICAO Doc 7364.
- [66] Chicagói Egyezmény, 7. Függelék: Légi járművek felség- és lajstromjelei. 6. kiad., 2012. 2–8. cikkek.
- [67] Hong-Kong Legfelsőbb Bírósága ítéletében kimondta, hogy a 70 darab légi jármű egy időben, Kínában és az Egyesült Államokban történő lajstromozása az Egyezmény 18. cikke alapján jogellenes. Civil Air Transport Incorporated v. Central Air Transport Corporation, International Law Reports, 1952. 86. o.
- [68] Rules for the Provision of Pertinent Data Concerning Aircraft Registered in a State Pursuant to Article 21 of the Convention on International Civil Aviation – C/1155 C-Min. 179/1–20., ICAO Doc 9003.; ICAO Council Working Paper/12697.
- [69] Az Európai Parlament és a Tanács 1008/2008/EK rendelete a Közösségben a légijáratok működtetésére vonatkozó közös szabályokról, HL L 293., 2008.10.31., 3. o.
- [70] Community law – lease approval issued under Council Regulation (EEC) No 3922/91, Annex III (EU-OPS), OPS 1.165, para 1., 2.; ECAC 21–1 recommendation.
- [71] Protocol Relating to an Amendment to the Convention on International Civil Aviation (Article 83 bis), signed at Montreal on 6 October 1980., 23rd Session of the Assembly, ICAO Doc 9318.; 2007. évi X. törvény.
- [72] A 83. alcikk alapján 2013-ig bezárólag mindössze 147 megállapodás született. Nem vált vonzóvá, pedig vannak előnyei a konstrukciónak; pénzügyileg például az Egyesült Államokban gyártott és lajstromozott, valamint az ottani bank által finanszírozott légi jármű után, amelyet külföldi légitársaságnak adtak bérbe, a bank az adót helyben visszaigényelheti. Legal Committee 35th Session, Safety aspect of economic liberalization and article 83 bis, LC/35-WP/3–2. 2. o.
- [73] C/1139 Attachment to Council Resolution of 13 June, 2001, C-Min 163/8. 93. o., ICAO Doc 9785.
- [74] Chicagói Egyezmény, Légi alkalmassági bizonyítvány, V. fejezet, 31. cikk; ICAO Annex 8 – Airworthiness Manual. ICAO Doc 9760.
- [75] Chicagói Egyezmény, 1. Függelék: Szakszemélyzet jogosítása. 11. kiadás, 2011.
- [76] Chicagói Egyezmény, A légi jármű rádió berendezése. V. fejezet, 30. cikk; Assembly Resolution A29-19. ICAO Doc 9848.

LEGAL STATUS OF CIVIL AIRCRAFT

The legal status of aircraft is a paramount important issue. Aircraft have the nationality of the State in which they are registered. The State of registration of the aircraft is competent to exercise the jurisdiction over acts committed on board. The importance of the separation of civil and state aircraft is that the Chicago Convention (1944) shall be applicable only to civil aircraft, and shall not to state aircraft. The use of weapons against civil aircraft in flight is forbidden. The international law at the same time provides the right of individual or collective self-defence if an armed attack occurs against a Member of the United Nations.

Keywords: civil and state aircraft, pilotless aircraft, nationality of aircraft, use of weapons against civil aircraft in flight and its prohibition

Dr. Sipos Attila
LL.M. nemzetközi légi- és világűr jog
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Állam- és Jogtudományi Kar
siposa5@gmail.com
orcid.org/0000-0002-8518-0826

Dr. Attila Sipos
LL.M. International air and space law
ELTE University
Faculty of Law and Political Sciences
siposa5@gmail.com
orcid.org/0000-0002-8518-0826



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-21-0439_Sipos_Attila.pdf

Major Gábor

A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰ RENDSZEREK HASZNÁLATA AZ ELEKTRONIKAI HADVISELÉSBEN

Napjaink társadalmában az információ, annak megszerzése és birtoklása a fennmaradás elsődleges záloga. Ezzel az értékkel jól kell gazdálkodni, ezt fontos tudatosan megosztani és felelősen őrizni, védeni. Minden információmorzsát valaki meg akar szerezni, bízva abban, hogy annak birtokában a konkurenciát, ellenfelet, netán az ellenséget meg tudja előzni, le tudja győzni. Ebben a „harcban” az kerekedhet felül, akinek fejlettebb eszközei vannak az adatok felderítésére, értelmezésére, vagy az, aki ezeket a fontos ismereteket megfelelő eszközökkel, eljárásokkal és módszerekkel álcázni tudja a kíváncsiskodó szemek előtt. Az elektronika és a számítástechnika fejlődése egy sor olyan iparág kialakulását hozta magával, amelyek az ezekből adódó tudás leplezésére, valamint a megszerzésére szakosodtak. Ezeket az információs műveleteket nem csupán a hadiiparban, hadműveletekben „alkalmazzák”, hanem a civil hétköznapokban, így például az ipari kémkedés világában is találkozhatunk velük. Az alábbi publikációban a szerző bemutatja az információs műveletek egy elemének, az elektronikai hadviselés és a drónok¹ közötti kapcsolódási lehetőségeket a témában megjelent, releváns hazai és külföldi publikációk segítségével, valamint tartalmazza a szerző egyéni következtetéseit is.

Kulcsszavak: pilóta nélküli légi jármű rendszerek, drón, elektronikai hadviselés, információszerzés

BEVEZETÉS

*„Ha az ellenség nyitva hagy egy kaput, rohanj be rajta!”
(Szun-ce²) [1]*

Amióta ember él a Földön, mindig adódik ok arra, hogy háborúzzon valakivel. Minden esetben sikerült megfelelő, magyarázható célt „találni” ahhoz, hogy az aktuálisan szemben álló fél ellen az érdekeit erővel érvényesítse, mely lehet területszerzés, gazdasági erőforrások megszerzése/megtartása, vallási és/vagy politikai ideológia terjesztése.

Az ipari termelési korszakot felváltó információs termelési kor új társadalmi modellt hozott magával. Minden eddigi társadalmi modellnél gyorsabban változó és intenzívebben fejlődő társadalom körvonalazódott az elmúlt évtizedekben, létrejött az információs társadalom. Ebben a társadalomban az információ vált az egyik legfontosabb tényezővé, ahol már a mindennapi élet alapvető mozgatórugója, valamint társadalmi értéke az információ, a kommunikáció és a tudás [2].

Ebben a korszakban az információhoz történő mielőbbi hozzájutás az egyik, sőt talán a legfontosabb ok a „háborúzásra”. Nem az a kérdés, hogy egy fontos, vagy annak tartott adatot ki birtokol, hanem az, hogy az érvényesülés érdekében ki és milyen gyorsan tudja azt megszerezni. Akinek van valamilyen értéke, az megtesz mindent annak érdekében, hogy ne kerüljön avatatlan kezekbe, akinek pedig szüksége van erre, az meg megragad minden lehetőséget, minden lehetséges eszközt „hadrendbe állít” a megkaparintására.

¹ A köznapi használatban a pilóta nélküli légi járművekre (UA – Unmanned Aircraft, ICAO Circular 328.) használt kifejezés.

² Ókori kínai hadvezér i.e. 544–i.e. 496.

Ezen fontos adatokhoz, leírásokhoz, „titkokhoz” való hozzájutást nagyban elősegíti, hogy az infokommunikációs technológia rohamosan fejlődik, amivel egyenes arányban növekszik az ezt használó rendszerek sebezhetősége is. Ezt mindenki megtapasztalhatja akár saját magán is, a számítógépek, okostelefonok és más, ma már elengedhetetlen, vagy a média útján a társadalomra erőltetett, elengedhetetlennek tűnő eszközök használata során. Az ilyen eszközökön a különböző biztonsági alkalmazások futtatása szinte már kötelező, ha nem akarunk áldozatává válni különféle rosszindulatú „ajánlattételeknek”, megkereséseknek, vagy fenyegetéseknek. A „próbálkozások” számának növekedése, a megszerezhető információ érzékenységevel exponenciális arányban növekszik, amely még fokozottabban igaz a gazdasági élet szereplőinek hálózataira, valamint az állami és önkormányzati szervek és intézmények által működtetett rendszerekre is. A különböző elemzések azt mutatják, hogy az infokommunikációs rendszerek ellen irányuló támadások száma növekszik, és e támadások következményeként felmerülő károk egyre nagyobb mértéket öltenek, amin csodálkozni dőreség lenne, hiszen szinte minden „értékünk” a virtuális világban létezik. Addig, amíg a gépeink, termőföldjeink, jószágaink kézzel fogható valóságban voltak, a fizető eszközeink az adás-vétel helyén léteztek tárgyiasult formában, a ház világító-, hűtő-fűtő és vagyonvédelmi berendezéseit kézzel, nem okos eszközön keresztül irányítottuk, kapcsoltuk, addig az ilyen elemzéseknek, okfejtéseknek nem volt alapja. Ám az információs társadalom kialakulása új kihívásokat teremt, mivel komoly probléma, hogy az információs rendszerek elleni támadások egyre kifinomultabbak, nehezebben érzékelhetők, kiterjedtebbek és a magánszférát, illetve a vállalati és kormányzati szektort egyaránt fenyegetik [3].

Mindezen változások maguk után vonják a biztonságkultúra kérdéseinek újszerű megközelítését mind a magán, mind pedig az állami szférában, a biztonsági cégek, a fegyveres erők és a titkosszolgálatok lehetőségeinek, alkalmazási módjainak, struktúrájának, vezetési és törzskultúrájának gyökeres megváltozását és az információs műveletek új fogalomrendszerének kialakulását [4].

A társadalom már-már túlzottan is „elfogadja” az infokommunikációs eszközök és rendszerek előnyeit, támaszkodik a mindennapok egyszerű tevékenysége során a megszokott virtuális rituálékra, mindeközben észre sem veszi, hogy valaki befolyásolja érzéseit, gondolatait és tevékenységét. Ez megtehető távolról számítástechnikai hálózatokon keresztül, de ha a célszemély olyan „távol” van, akkor közelebb kell menni hozzá a megfelelő hatás elérése érdekében. Ehhez egyre kifinomultabb, precízebb és okosabb eszközök „fejlődnek” mind a földön, mind pedig a levegőben történő alkalmazásra. Egy adott helyszínre a kijuttatás leggyorsabb, legegyszerűbb és talán a leginkább feltűnésmentes eszközei a légi eszközök, azok közül is a pilóta nélküli rendszerek. A napjainkban ismert repülőeszközök közül (az űreszközöket jelenleg ide nem sorolva), talán a legdinamikusabb fejlődés a pilótanélküli repülőgépeké.

Szinte nem telik el nap, de egy hét biztosan, hogy ezen eszközökkel végrehajtott feladatokról, újdonságokról, fejlesztésekről ne olvashatnánk a médiában. Igaz, a legfelkapottabb hírek a napozó szomszédot filmező, fotózó drónról, a csomagokat szállító UAV/UAS³-ról, a rablót üldöző pilóta nélküli légitársaságról, a rendezvényeket felügyelő és az épületeket szkennelő távirányítású eszközökről szólnak, de a felsorolt tevékenységeknél sokkal többet tudnak ezek a rendszerek.

Ebben a publikációban bemutatom, hogy a „hétköznapi ember” számára megismert, szinte már a megunásig ismételtetett felhasználási lehetőségeken túl, mit tudunk még tenni ezekkel az eszközökkel, milyen kapcsolódási pontok vannak az információs hadszíntérben végrehajtott műveletek, és az ezek végrehajtása során alkalmazott, pilóta nélküli légitársaságok között. Mielőtt a konkrét

³ Unmanned Aerial Vehicle/Unmanned Aerial System – pilóta nélküli légitársaság/ pilóta nélküli légitársaság rendszer

UAV felhasználásról írnék, a magyar szakirodalmak segítségével tisztázom az elektronikai hadviselés helyét az információs műveletek rendszerében.

AZ INFORMÁCIÓS SZÍNTÉR ÉS AZ INFORMÁCIÓS MŰVELETEK

*„Az információs hadviselés lesz a legösszetettebb típusú hadviselés a 21. században, és az információ fogja eldönteni, hogy ki nyeri meg és ki veszíti el a harcot.”
(Mengxiong, Chang) [5]*

Napjaink új típusú társadalmában a különféle információs tevékenységek az úgynevezett információs környezetben, vagy más kifejezéssel az információs színtéren zajlanak. Az információs környezet definíciójára többféle meghatározást is találhatunk, attól függően, hogy ki milyen szempontból vizsgálja azt és mit tart fontosnak hangsúlyozni. Például az USA összhaderőnemi információs műveletek doktrínájában olvashatjuk, hogy: *„az információs környezet mindazon egyének, szervezetek és rendszerek összessége, akik, és amelyek az információ gyűjtésével, feldolgozásával, szétosztásával foglalkoznak”*. A definíció szerint az információs környezet magában foglalja annak valamennyi szereplőjét és erőforrásait, illetve tevékenységeit és folyamatait. Az információs környezetet tekintve beszélhetünk katonai információs környezetről, valamint globális információs környezetről, mely az információs társadalom kibontakozásával alakult ki és az információ világméretű gyűjtésével, feldolgozásával és elosztásával foglalkozó szereplők (egyének, szervezetek és rendszerek) összessége. Ennek az átfogó környezetnek a technikai-technológiai alapját az a globális információs infrastruktúra képezi, amely nem más, mint azoknak a vezetékes és vezeték nélküli távközlési rendszereknek, számítógép-hálózatoknak és egyéb információszerző, -feldolgozó és -szétosztó rendszereknek az összessége, amelyek az információcserét biztosítják. Az átfogó információs környezetnek a világ minden érintett globális, regionális és nemzeti szerve, intézménye és rendszere részét képezi [6].

Miután új társadalmi modell és környezet definiálódott, így törvényszerű, hogy a katonai műveletekben is újabb, az eddigi fizikai dimenziók mellé, egy nem földrajzi dimenzió kerüljön meghatározásra. A szárazföldi-, tengeri-, légi- és kozmikus hadszíntér mellett a hadviselés egy újabb tartománya jelent meg, amelyet katonai információs környezetnek, más szóval információs hadszíntérnek nevezünk.

Az információs hadszíntéren a szárazföldi-, légi-, tengeri- és kozmikus műveletek mellett, és azokkal szoros összhangban, egy újabb fajtájú katonai tevékenységet is folytatnak az egymással szembenálló felek az információ megszerzéséért, megtartásáért és hatékony felhasználásáért. E tevékenységeket összefoglalóan információs műveleteknek nevezik. Az információs hadszíntér kifejezésben az információs jelző azonban nemcsak a műveletekre utal. Azt is jelenti, hogy a hagyományos katonai műveleteket a korábbiaknál jelentősebben támogatják az információs korszak által biztosított infokommunikációs technológiák [7]. Ezáltal minőségileg új helyzet áll elő a katonai tevékenységek eddigi történetében, hiszen ha az egyik félnek egyre gyorsabban és pontosabban van lehetősége folyamatos információáramlással az adatok gyűjtésére, feldolgozására és továbbítására, miközben kihasználja, vagy megakadályozza az ellenség képességét ennek megtételére, akkor uralja az információs hadszínteret [8]. Az információs hadszíntér a háborús színtér egyik speciális vetülete, amelyben az információs küzdelem az információ megszerzéséért és a szembenálló félnél hatékonyabb felhasználásáért folyik. *„Az információs hadszíntér minden olyan valós és virtuális terület, helyet, eszközt, rendszert magába foglal, ahol az információ megszerzésével, előállításával, feldolgozásával, felhasználásával, tárolásával és védelmével foglalkoznak.”* Az információs hadszíntér

kiterjedésében rendszerint túl mutat a valódi hadszíntéren, mivel a hadműveleti területen kívül magába foglalja a hátszági támogató katonai és polgári szervek infokommunikációs rendszereit és szervezeteit is [7].

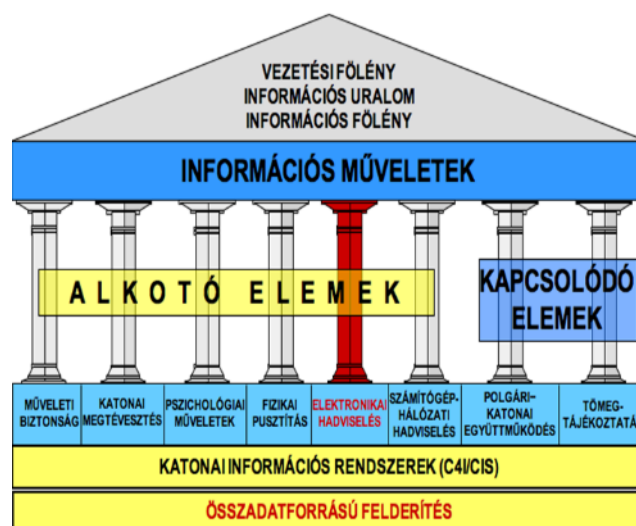
Ezen az információs hadszíntéren végrehatott mindennemű tevékenységet, műveletet, egyfajta értelmezés szerint, információs műveletnek nevezhetjük. *„Ezen eljárások a fizikai-, az információs-, és a tudati dimenzióban érvényesülő, koordinált tevékenységeket jelentik, amelyek a szembenálló fél információira, információalapú folyamataira és infokommunikációs rendszereire gyakorolt ráhatásokkal képesek befolyásolni a döntéshozókat a politikai és katonai célkitűzéseik elérésében úgy, hogy emellett a saját hasonló folyamatokat és rendszereket hatékonyan kihasználják és megóvják. Az információs műveletek – az információs fölény és a befolyásoló képesség elérése, valamint megtartása érdekében – minden szinten (például politikai, gazdasági, kulturális, katonai: hadászati, hadműveleti, harcászati) és minden időben (béke, válság, háború) alkalmazott információs képességek közötti integráló, szinkronizáló és koordináló tevékenység. Az információs műveletek célja az információs fölény, információs uralom és végső soron a vezetési fölény kivívásával a befolyásoló képesség fenntartása, továbbá a saját oldali vezetési ciklus számára az idő csökkentése, valamint a szembenálló fél vezetési idő ciklusának tekintetében pedig az idő növelés elérése, így ezek által a hadműveleti fölény elérésének elősegítése”* [6].

Megszerzésének és megtartásának két azonos fontosságú oldala van, úgymint: kihasználni és megvédeni a saját információs képességeket, illetve gyengíteni az ellenség információs lehetőségeit. Mindezek érdekében adott szervezetek béke, válság és konfliktus időszakában információs műveleteket hajtanak végre [9].

Az információs műveletek más megfogalmazásban: *„Az információs fölény kivívása a szembenálló fél információi, információs folyamatai és információs rendszerei befolyásolására, illetve a saját információk, információs folyamatok és információs rendszerek védelmére irányuló tevékenységek összessége.”* [10]

Az ilyen tevékenységek az 1. ábrán látható felosztásban alkotják az információs műveleteket, melyek a már korábban is létező és a katonai műveletekben alkalmazott információs tevékenységek közötti összhangot teremti meg.

Az 1. ábrán látható, szemléletesen összefoglalt műveleti elemek közül, számos tevékenységi körben nagy biztonsággal és sikeresen alkalmazhatók a pilóta nélküli légitárművek, ám ennek az írásnak nem célja minden egységet részletesen kifejteni, például ábrázolni. Ezért az információs technológián alapuló hadviselésének egyik fontos elemét, az elektronikai hadviselést kiválasztva haladok tovább a bevezetőben célként kitűzött kapcsolat (elektronikai hadviselés és a drónok) megjelenítése felé.



1. ábra Az információs műveletek elemei [9]

Az elektronikai hadviselés

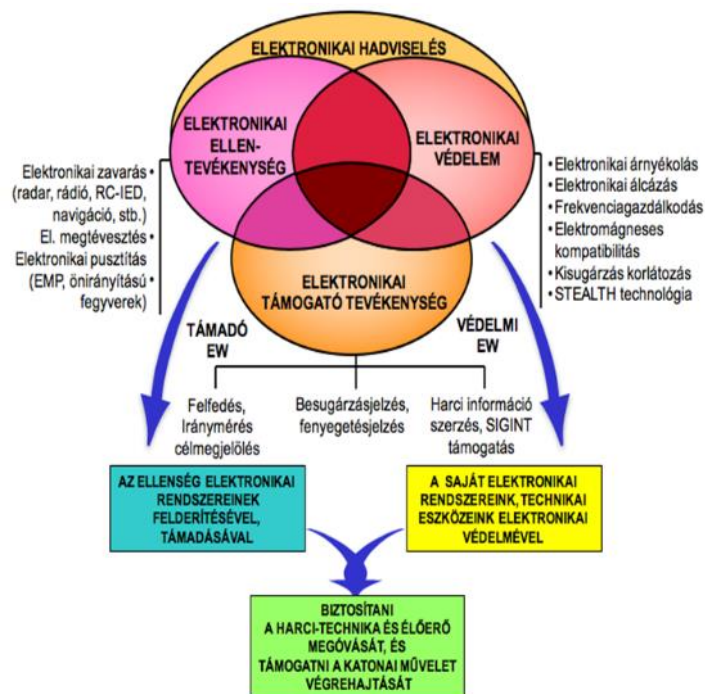
Olyan harci képességeket foglal magában, amelyek kiegészítik más fegyverrendszerek hatását [18]. Más megfogalmazásban az elektronikai hadviselés olyan katonai tevékenység, amely az elektromágneses energiát felhasználva meghatározza, felderíti, csökkenti vagy megakadályozza a frekvenciaspektrum ellenség részéről történő használatát és biztosítja annak a saját csapatok általi hatékony alkalmazását. Területei (2. ábra) az elektronikai támogató tevékenység, az elektronikai ellentevékenység és az elektronikai védelem. Az elektronikai támogató tevékenység az elektronikai hadviselés azon része, amely magába foglalja – a fenyegetés azonnali jelzése érdekében – az elektromágneses kisugárzások felkutatására, elfogására és azonosítására, valamint a források helyének meghatározására irányuló tevékenységeket. Az elektronikai ellentevékenység az elektronikai hadviselés azon területe, amely magába foglalja az elektromágneses és irányítható energiák kisugárzását abból a célból, hogy megakadályozza vagy csökkentse az elektromágneses spektrum ellenség által való hatékony használatát. Az elektronikai ellentevékenység egyik területe az elektronikai zavarás, amely az elektromágneses energia szándékos kisugárzását, vissza sugárzását vagy visszaverését jelenti azzal a céllal, hogy megakadályozzuk az ellenség elektronikai eszközeinek vagy rendszereinek hatékony működését. Az elektronikai védelem az elektronikai hadviselés azon része, amely biztosítja az elektromágneses- és egyéb spektrum saját részről történő hatékony használatát az ellenség elektronikai támogató és ellentevékenysége, valamint a saját csapatok nem szándékos elektromágneses interferenciái ellenére [11].

A továbbiakban az elektronikai védelem és az elektronikai támogató tevékenység halmazába is beilleszthető tevékenységgel foglalkozok, mivel a jelen írás terjedelme nem teszi lehetővé, hogy az elektronikai hadviselés teljes spektrumát, minden egyes elemét feldolgozzam. Abban az esetben, amikor a saját csapataimat kívánom védelmezni az ellenség hatékony elektronikai felderítésétől, több módszer mellett az eszközeim kisugárzásának korlátozására van szükség. Amennyiben információval szeretnék gazdagodni a szemben álló fél műveleteiről, akkor a SIGINT⁴, MASINT⁵,

⁴ Signals Intelligence – jelhírszerzés, amerikai katonai rövidítés a rádiós és rádióelektronikai hírszerzésre

⁵ Measurement and Signature Intelligence – különböző típusú mérőműszereket felhasználó, technikai jellegű hírszerzés, amely észleli, beméri, követi, azonosítja és leírja a célforrásra jellemző egyedi tulajdonságokat, mint

IMINT⁶, HUMINT⁷, OSINT⁸ és a RINT⁹ hírszerzési tevékenységek állnak rendelkezésre. Az imént említett eljárások közül a publikáció további részeiben a nem szándékos kisugárzás felderítési tevékenységgel, az elektronikus biztonsággal és az ehhez kapcsolható UAV tevékenységekkel foglalkozok, így közelebb kerülve és bemutatva a pilóta nélküli rendszerek által megoldható egy-egy feladatot.



2. ábra Az elektronikai hadviselés összetevői [6]

Ha a felhasználó akaratán kívül kisugárzott adatokhoz szeretnénk hozzájutni, abban az esetben úgy kell a rendszerünket hangolni, hogy az ellenség elektronikai eszközeinek nem szándékos elektromágneses kisugárzásait keresse a felderítő eszközünk. Ezek a mechanikai- (szeizmikus-, akusztikai-, hidroakusztikai), elektromágneses (rádióhullámok, optikai-, infra-, lézer-, ultraibolya sugárzások) és/vagy részecske sugárzások, keletkezhetnek az adóberendezések, antennák, tápvonalak sérüléseiből a berendezések helytelen üzemeltetéséből, sávon kívüli mellékisugárzásokból, esetleg a számítógép monitorok normál működése közbeni kisugárzásból.

Ez a tevékenység nem csupán harci körülmények között kívánatos eljárás, hanem az üzleti élet, a magánszféra és az állami, önkormányzati szektor bizonyos adatainak, eljárásainak, rendszeradatainak, üzleti-, állam-, vagy magántitkok felderítése esetén is.

Ezen „titkok” megóvása érdekében számos technikai jellegű, írott és íratlan szabály létezik, melyek folyamatosan frissítésre is kerülnek, így ezek betartása a károk minimalizálásában jelentősen segíthet mindaddig, amíg a felderítési lehetőségek tárházának bővülése nem kerül lépéselőnybe.

például egy meghatározott repülő eszköz radarjele vagy a levegőből vett minta vegyi összetétele. Más szóval minden olyan technikai hírszerzés, ami nem sorolható a SIGINT és az IMINT kategóriába

⁶ Imagery Intelligence – képanyagok elemzésén alapuló hírszerzési módszer

⁷ Human-Source Intelligence – humán hírszerzés, emberi erőforrások felhasználásával folytatott hagyományos hírszerzés, kémkedés

⁸ Open Source Intelligence – a nyílt forrású hírszerzés nemzetközileg is elfogadott angol nyelvű rövidítése

⁹ Radiation Intelligence – kisugárzás felderítés

Az elektronikus biztonság

A témával foglalkozó jogszabályok, rendeletek és előírások útvesztője nem könnyíti meg a dolgot az egyszerű felhasználónak, de a következő néhány gondolatban összegyűjtöttem a legfontosabb ismereteket ezzel kapcsolatosan.

Az országgyűlés az állami és a közfeladatok ellátásának biztosítása érdekében, a közérdekű adatok megismerésének alkotmányos jogából, illetve e jog kizárólag **szükséges és arányos** mértékű korlátozásának lehetőségéből kiindulva, a minősített adat védelméről megalkotta a 2009. évi CLV. törvényt. Ezt követően az iparbiztonsági ellenőrzés és a telephely biztonsági tanúsítvány kiadásának részletes szabályairól alkotott rendeletet a kormány 92/2010. (III. 31.) számon. Majd ugyanebben a jogalkotási ciklusban megszületett a minősített adat elektronikus biztonságának, valamint a rejtjeltevékenység engedélyezésének és hatósági felügyeletének részletes szabályairól, 161/2010. (V. 6.) számú kormányrendelet. Ebben kerül pontosításra az elektronikai hadviselés szempontjából is egy fontos fogalom, mint a **kompromittáló kisugárzás**, amely olyan elektromos vagy elektromágneses jel, amelynek vétele és feldolgozása lehetővé teszi az arra illetéktelen személy vagy szerv számára az elektronikusan kezelt minősített adat kinyerését és megismerését. Ennek a rendeletnek a tanulmányozását folytatva ismerhetjük meg a kisugárzás csökkentésének jogszabályi követelményeit, melyet a **TEMPEST**¹⁰ követelmények fogalom alatt egységesítették. A megfogalmazás szerint a „Titkos!” és „Szigorúan titkos!” minősítési szintű nemzeti minősített adat, valamint a „Bizalmas!”, vagy magasabb minősítési szintű külföldi minősített adat bizalmosságának védelme érdekében kialakított biztonsági intézkedések – amelyek kiterjednek az elektromos és adatkábelek vonalvezetésére, a rendszer környezetében alkalmazható berendezésekre, árnyékolástechnikai megoldásokra, valamint csökkentett kisugárzású eszközökre – együttese, amelyet a rendszer valamennyi eleme vezetett és elektromágneses kompromittáló kisugárzásának csökkentése érdekében alakítottak ki. A jogszabály a követelmények érvényesítésével is foglalkozik a későbbi (49§-51§) paragrafusok között, melyben pontosításra kerül, hogy a TEMPEST követelmények kiterjednek a rendszer környezetében alkalmazható berendezésekre, elektromos árnyékolástechnikai megoldásokra, csökkentett kisugárzású hardver eszközök alkalmazására, az építészeti, épületgépészeti, épületvillamossági, valamint a rendszerhez tartozó vagy a rendszer környezetében található fém berendezések földelésére. A rendelet alapján az NBF feladata meghatározni a minősített rendszer telepítési helyének TEMPEST zóna besorolását, kivéve, ha az NBF által kijelölt szerv, a NATO, az EU vagy tagországaiak TEMPEST hatósága által elfogadott vagy kiadott zóna besorolással rendelkezik az adott szervezet, ebben az esetben további vizsgálatok nélkül is elfogadható az érvényes besorolás [24].

Néhány gondolat erejéig talán érdemes foglalkozni azzal, hogy mi is az a TEMPEST, ugyanis a jogszabályok tanulmányozásával (számomra) még nem sikerült megtudni, csupán azt, hogy a kompromittáló kisugárzás megelőzésére, vagy legalábbis a csökkentésére milyen bürokratikus

¹⁰ Vihar, fõrgeteg (fõnévként, de átvitt értelemben is) [14] Minden elektromosan mûködõ eszköz bocsát ki magából elektromágneses jeleket. Ez a fizikai jelenség lehetővé teszi, hogy megfelelő eszközök alkalmazásával a kisugárzott jelekből reprodukálható legyen az eszközön kezelt eredeti adat. Minősített adat elektronikus úton történõ kezelése esetén a kompromittálódás elleni fõ feladat a minősített adatot tartalmazó kisugárzás minimális szintre való csökkentése, ami megakadályozza az adat reprodukálhatóságát, annak illetéktelen kezekbe való jutását. E módszer szabályait TEMPEST összefoglaló néven említik.[26]

teendői vannak a rendszert üzemeltetőnek és a felhasználónak. A kutatásaim során a következő leírásokkal találkoztam a teljesség igénye nélkül:

- a TEMPEST egy vizsgálat fedőneve volt, amely során a különböző elektronikai adatfeldolgozó egységek kisugárzását elemezték. Ezen vizsgálatok során megállapították, hogy minden elektronikai berendezés kibocsát bizonyos rezgéseket, amelyeket elfogva, és különböző eljárásoknak alávetve, az adatok kinyerhetők. Megállapították továbbá, hogy a kisugárzás lehet akusztikus, elektromos vagy mágneses és az adatok visszanyerhetősége miatt, fontos nemzetbiztonsági tényezőként könyvelték el ezt a fizikai ténytet (bizonyos rendszereknél akár fény kisugárzás is lehetséges). A laboratóriumi tesztek bebizonyították, hogy a tökéletes információ védelmet, csak a fizikai közeg átalakítása, valamint a háttérzaj létrehozásával érhetik el. A vizsgálatok szerint, az elektromágneses hullámok sokszorosításával, minél több „fals” rezgés mesterséges indukálásával, már szinte lehetetlen az adatvisszaféjtés, amennyiben ehhez pedig egy megfelelő árnyékoló környezet társul, a belső visszhang miatt lehetetlenné válik a dekódolás. Fontos tudnunk, hogy ez a jelenség nem sugárzás, hanem kisugárzás. Tehát az információáramlás, a feldolgozás során az elektronikai vagy mechanikai berendezések által keltett hullámok. A TEMPEST jelzést gyakran használják, illetve említik úgy, hogy Kisugárzás Biztonság vagy Biztonságos Sugárzás (EMSEC)¹¹. A TEMPEST kezdetét a 60'-as és korai 70'-es évekre vezethetjük vissza, amikor is az NSA¹², ezt fedőnévként használta, a különböző elektronikai berendezések által kibocsátott jelek elfogására, és azokból való értelmezhető adatvisszaféjtésre tett kísérleteire. Kezdetben ezek a távközlési berendezésekre irányultak, mára azonban igen kiszélesedett ezen adatvédelmi technológia alkalmazása [12];
- a TEMPEST megoldások, többszintű védelmi rendszerrel igyekeznek az elkerülendő kisugárzásokat megakadályozni. A leghatékonyabb védelmi stratégia, az aktív és passzív védelem együttes használata. Az I/O kapukra kriptográfiai egységek felszerelésével, az adatok immár nem szabványos átvitele, jócskán megnehezíti a visszaféjtést. Ezt követően az árnyékolástechnológia szab gátat a sugárzásnak, így minden információ, csak a hardvereszközökben marad. A következő védelmi pont, a hardverelem hozzáférhetőségének korlátozása. És az utolsó szakasz, egy esetleges zavaróegység beépítése.

Az USA és a NATO TEMPEST három szintet határozott meg: [13]

1. NATO SDIP-27 Level A (régebben AMSS 720B) és az USA-ban *NSTISSAM I. Szint* „Egyezményes Laboratóriumi Test Kisugárzási szint” Ez a „stricteszt” mondhatni rövidtávú szint, azon egységeknek feleltethető meg, ahol az információ elnyelő, nevezzük támadónak, szinte közvetlenül hozzáfér az adatokhoz, azaz a kisugárzást közvetlen közletről rögzíti. (maximum **1 m-es távolság**ig megengedett ezen szintben a támadó) NATO Zóna 1 szint.
2. NATO SDIP-27 B Szint (régebben AMSS 788A) és az USA-ban *NSTISSAM II. Szint* „Laboratóriumi Próba Szabvány Gyengén Védett Berendezésekre” Ez egy némileg lazább szabvány, ami NATO Zóna 1 egységeknél az működik. A szabvány szerint adott egy támadó, aki a kisugárzó berendezéshez **maximum 20 m-es távolság**ba tud csak közel jutni. A szabvány szerint a támadó számára a fizikai kontaktus lehetetlen. (a 20 m-es táv mérésében, fizikai közeg nem játszik szerepet, így az építőanyagok, vagy páncélzat sem).

¹¹ Emissions security - sugárzás biztonságtechnika

¹² National Security Agency (Nemzetbiztonsági Ügynökség) az Amerikai Egyesült Államok rádióelektronikai, jelhírszerzéssel foglalkozó hírszerző szervezete

3. NATO SDIP-27 Szint C (régábban AMSG 784) és az USA-ban *NSTISSAM III. Szint "Labor Próba Szabvány, Taktikai Mobil Berendezés / Rendszerek esetében"* Ez a szint, még inkább lazább szabvány, amely NATO Zóna 2 egységekben működik. A szabványban a támadó **maximum 100 m-re** tudja megközelíteni a kisugárzás forrását.

Pótlólagos szabvány:

1. NATO SDIP-29 (régábban AMSG 719G): *"Üzembe helyezése Villamos Berendezésnek a Feldolgozása Titkos Információnak"*. Ez szabvány meghatározza az elektronikai berendezések üzembe helyezésének követelmények például, hogy milyen az alap összetétele, milyen távolságra legyenek a kábelek, milyen borításúnak kell lennie a berendezésnek;
2. AMSG 799B: NATO Övezetekre Osztási Eljárási Szabvány. Ezen szabvány rendelkezik a különböző övezetekre vonatkozó feltételekről, és egyértelműen leírja, hogy az egyes titokvédelmi követelményeknek miként kell megfelelni.

A tanulmányom eddigi részeiben írtam az információs társadalomról, az információs hadszíntérről, azt is bemutattam, hogy mik azok az információs műveletek és milyen elemei vannak, majd bemutattam az elektronikai hadviselés alkotó elemeit, valamint a kompromittáló kisugárzással kapcsolatban a TEMPEST jelentését és annak jogi hátterét is körbe jártam, de hogy miként kapcsolhatók a pilóta nélküli légi járművek ehhez a témához, erre még nem adtam magyarázatot. A következő pár bekezdésben erre mutatok lehetőségeket, elképzeléseket.

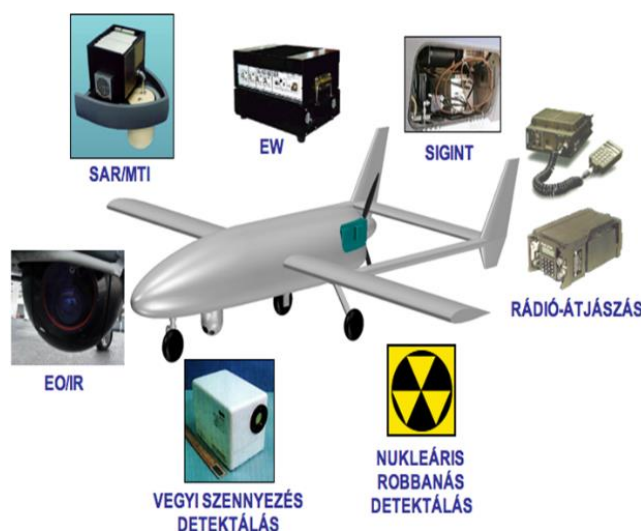
AZ UAV FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI AZ ELEKTRONIKAI HADVISELÉSBN

A drónok lehetőségeit tekintve a XXI. század elején, a technikai fejlődés eredményeinek köszönhetően, egyre gyakrabban találkozunk a repülésben a hagyományos repülő eszközök mellett a pilóta nélküli repülőgépekkel. Feladatukat és rendeltetésüket tekintve számtalan helyen és célra alkalmazhatjuk ezeket az eszközöket, akár katonai, akár polgári vonatkozásban.

Tipikus katonai légi tevékenységek, mint például megelőző csapások, vagy légi harcok, felderítési manőverek megvívása folyamán az ember által vezetett és a személyzet nélküli repülőgépek együttes alkalmazása biztosíthatja az alkalmazott eszközök hatékonyabb felhasználását és a saját erők fokozottabb megóvását. Például a pilóta által vezetett légi jármű előtt repülő UAV-ken helyezik el a felderítő és csapásmérő eszközöket – amelyeket a hajózó saját fedélzeti rendszere részeként üzemeltet (drónok és repülőgépek hálózatos, rajban történő üzemeltetése) [15].

A légi eszközünk képességeit tekintve folyamatos „fejlődést” figyelhetünk meg. Számos területen bevonásra kerülnek, mint például rendvédelmi felhasználásban, ahol néhány országban megjelentek a paintball lövedékekkel felszerelt, tömegoszlatásra alkalmas UAV-ok. Indiában paprikaspray-vel felszerelt eszközökkel kísérleteznek a rendvédelmi szervezetek fejlesztői. Egyre nagyobb népszerűségnek örvendenek a képrögzítésre alkalmas eszközökkel rendelkező, pl. események rögzítésére használható eszközök. A szórakoztatás mellett külön cégeket alapítottak (alapítanak) események filmezésére, terepfelmérésre, térképezésre, hő- és infrakamerás felvételek készítésére, továbbá nehezen megközelíthető helyek felderítésére is. Másik alkalmazási terület, amivel a német posta is kísérletezik az a csomagszállítás, melynek keretében az Északi-tengeren található egyik szigetre indítottak gyógyszer kézbesítő pilóta nélküli repülőgépes szolgáltatást. A közel jövőbeni tervek között szerepel, hogy a Facebook közösségi portált üzemeltető vállalat,

pilóta nélküli repülőgépekkel szeretne földközeli, műhold szerű Internetes lefedettséget biztosító szolgáltatást nyújtani az elmaradott országokban vagy nehezen megközelíthető helyeken tervek szerint napelemes UAV-al. További lehetőségként adódik nagyméretű mezőgazdasági területek megfigyelésére is. A drónokra szerelt nagy felbontású kamerákkal a különböző spektrumokban felvett képekkel egyszerűen és költséghatékonyan megállapítható az egyes területeken telepített növényzet fejlődése és betegsége egyaránt. A katasztrófavédelmi szervezeteknél is hatékonyan használhatók a kárfelmérésére, a kutató-mentő műveletek támogatására, esetleg gyógyszerek, mentő eszközök helyszínre juttatására, valamint az alkalmazásuk kiterjedhet tűzfelderítés, tűzoltás körére is. A katonai alkalmazásokat nem kihagyva szükséges megemlíteni, hogy az USA a különleges műveleti erők támogatására (információs műveleti támogatás) is be kívánja vetni ezeket az eszközöket. A válságkörzetek területén is sikerrel bevethetők légi megfigyelő tevékenység végrehajtására az UAS-ok. Segítségükkel a légi megfigyelés során a nemzetközi szervezetek munkatársai távolról figyelhetik meg az eseményeket, ezzel minimálisra csökkentve a személyi sérülés lehetőségét a körzetben. Az Európai Biztonsági és Együttműködési Szervezet (EBESz) szintén alkalmaz Ukrajna területén UAS eszközöket felderítési, megfigyelési feladattal [16].



3. ábra Az UAV lehetséges alkalmazásai [22]

Az ebben a fejezetben eddig leírt, felsorolt lehetséges bevetési módok mellett, közeledve a címben említett elektronikai hadviselést megvalósító UAS eszközünkhöz, a pilóta nélküli légi járművön elhelyezett függesztményeket tekintve a 3. ábrán rendkívül szemléletesen kerül bemutatásra néhány lehetséges megvalósítási mód, amivel „harcba” küldhetők az UAV-k. Ezt a megoldási repertoárt tekintve, az eszközünk képes az egyszerű rádió-átjátszásra, a nukleáris robbanás és a vegyi szennyezés detektálásra, infravörös tartományú (EO/IR)¹³ felderítésre, térképezésre, mozgó célpont indikálására (SAR/MTI)¹⁴, elektronikai hadviselési (EW)¹⁵ és rádiófelderítési (SIGINT) feladatok elvégzésére.

A XXI. század információs társadalmában rendkívül nagy teret kapott a számítógép, mely minden háztartásban és munkahelyen nagy számban megtalálható. Ezen keresztül bonyolítjuk

¹³ Electrooptical/infrared – elektrooptikai/infravörös

¹⁴ Synthetic Aperture Radar/Moving Target Indicator

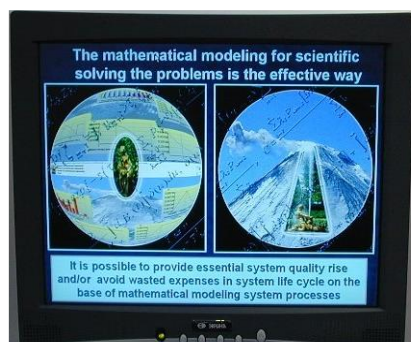
¹⁵ Electronic Warfare – elektronikai hadviselés

levelezéseinket, olvassuk a híreket, kapjuk a munkahelyi feladatokat, intézzük a vásárlásainkat, és mindeközben talán nem is gondolunk arra, hogy veszélynek lehetünk kitéve.

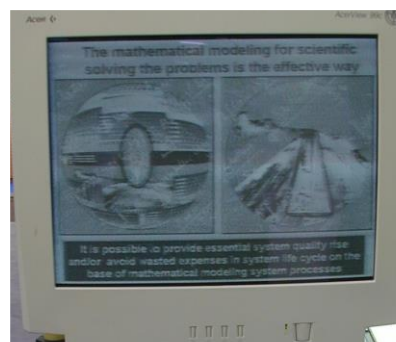
A hálózatba kötött informatikai eszközök elleni támadások és az ellenük történő védekezés számos publikációban elérhető. Ebben az írásban a számítástechnika még szűkebb szegmensét vizsgálom, ami az egyedül álló gépekről történő „adatlopások” megvalósíthatóságával hozható kapcsolatba, amelyek kivitelezéséhez segítségünkre lehet a megfelelően paraméterezett és felkészített UA eszközünk. Az egyik esetben a Wim Van Eck nevéhez köthető lehallgatási technikát¹⁶ említeném, melyet a holland számítástechnikus 1985-ben dolgozott ki [25]. Ezen eljárás során a lehallgató, egy informatikai eszköz, például a monitor elektromágneses sugárzását figyeli meg. Van Eck ezzel a módszerrel eredetileg a katódcsöves (CRT) monitorokat vizsgálta, ám később kifejlesztésre került a hasonló elven működő lehallgatási módszer az LCD képernyőkre is, amely a mai napig használható, működtethető eljárás. Az ilyen monitorok képét a képernyő belső felületére felvitt foszfor felvillanásai adják, amelyeket egy elektronsugár gerjeszt. Az elektronsugár, amelyet elektromágneses tekercesek térítenek el a megfelelő irányba, másodpercenként néhány tucatszor végig pásztázza a képernyőt. A tekerceseket vezérlő magasfeszültségű jel, amely a képernyőn megjelenő összes információt tartalmazza, elektromos kisugárzást gerjeszt. A jelet nagyfrekvenciás antennákkal fogva és szinkronizálva akár relatíve nagy távolságról is kiolvasható belőle az eredeti kép, melyet a 4. ábrán szemléltetek. Ehhez a kiolvasáshoz mind a CRT, mind pedig az LCD képernyőket célzó eszköz viszonylag olcsó, könnyen beszerezhető alkatrészekből állítható össze. Az UA szerepe ott jelentkezik, amikor a TEMPEST követelményeknek megfelelni kívánó felhasználó a NATO zóna 1. szintnek megfelelően kiépíti a védelmet, így joggal gondolhatná, hogy teljes biztonságban van. Ám a pilóta nélküli eszközök rohamos fejlődése a miniaturizálást is beleértve, ezt a szabályzót is képes felülírni.

Mivel a nagyfrekvenciás vevő eszköz elvi felépítése adott, az a megoldandó feladat, hogy ez olyan kisméretű legyen, ami a lehallgatásra szánt eszköz közelébe történő juttatásra alkalmas drónunkra biztonságosan felhelyezhető legyen. Minél védettebb adatokkal dolgoznak az adott munkaállomáson, a számítástechnikai rendszer védelme annál magasabb szintű, így annál kisebb, precízebb pilóta nélküli szállító eszköz kell az észrevétlen megközelítéshez és a lehallgatás ideje alatti az észrevétlen pozíció tartáshoz. A nanotechnológia korában a nanorobotok egyre több, információ szerzésre képes nanoszenzort tudnak magukkal vinni, amelyekkel megszerezhetővé válnak a szenzitív adatok is. A hordozó eszköz, amely esetünkben egy nanodrón, a mesterséges intelligenciával felvértezve, képes megtalálni a rést, amelyen át bejut az őrzött helyiségbe. Az adatok felderítését, rögzítését követően önállóan megkeresi a kijutási lehetőséget, ám amíg nem mutatkozik lehetőség a távozásra, addig a saját energiaellátó rendszerét tartja karban az eszköz. Kihhasználva a falban futó vezetékek, valamint különböző elektromos eszköz körül gerjesztett mágneses teret, vezeték nélküli töltéssel „gondoskodik” a maximálisan elérhető energia szintről. Azt híhetnénk, hogy ez a módszer az LCD monitorok, notebookok korában elavulttá vált. Ez azonban nem igaz, mivel az eljárás „él és virul” napjainkban is, ami felértékeli az UAV-k szerepét ennek a precízebb végrehajtásában.

¹⁶ A lehallgatás az információ titokban való megszerzésének - általában - etikátlan módja.



Eredeti Power Point prezentáció



25 m távolságban elhelyezett lehallgató eszközön megjelent információ

4. ábra Monitor kisugárzás lehallgatása [19]

Egy másik módszer, amivel akár jelszavakat is lehet „lopni” a számítástechnikai eszközünkről, az a számítógép házában található hűtőventilátor manipulálása. Biztonsági kutatók igazolták, hogy a ventilátor gyorsításával és lassításával adatok továbbíthatók egy közeli hangrögzítő eszközre. Egy különálló számítógépből történő adatlopásnak erre a módszerére eddig a gyanútlan felhasználó nem is gondolt, hiszen még a letiltott USB portok sem akadályozzák meg a lehallgatást. Az izraeli Ben-Gurion Egyetem mérnökei igazolták, hogy egy elszigetelt gépről is kinyerhetők a szükséges adatok, ha egy kártevő segítségével ráveszik az eszközt, hogy zajt adjon. Mivel a digitális adatok nullákból és egyesekből állnak, így nem is meglepő, hogy a ventilátor gyorsulása zajt kelt, amit a feldolgozó egység egyesnek, a lassulást pedig nullásnak dekódol. Így a gyorsítás és lassítás ciklusaival egyesek és nullák közvetíthetők. Mivel a mai modern eszközök hűtő elemei igazán csendesek, így a zajt vevő egységnek, a megfelelő érzékelés miatt, nagyon közel (kb. egy m-es távolságon belül) kell tartózkodni az adatnyerés idejére. Ennek megvalósításához az előző módszernél is említett miniatürizálás fejlődése elengedhetetlen, mivel a cél ventilátor mellé fixen telepített eszköz akár feltűnő is lehet. Ellenben drónt használva, megfelelő időpontban elvégezhető a berepülés, majd a megfelelő mennyiségű adat megszerzését követően pedig feltűnés nélkül távozhat az eszközünk, akár az előző felhasználási lehetőségnél leírt módszerrel, amikor a mesterséges intelligenciával ellátott NUAV¹⁷ önállóan felderíti a zsilip nyitásának pillanatát, majd berepül a célzónába. A másik lehetőség a nano eszközt tekintve, amikor a védett helyiségbe maga a kezelő „szállítja be” az eszközt a ruhájának redőjében, vagy akár a táskájának oldalára tapadva [20][21].

KÖVETKEZTETÉS

Az írásom elején célként fogalmaztam meg, hogy kapcsolódási pontokat keresek és mutatok be a hagyományos hadviselés fizikai hadszíntere mellett megjelent, információs hadszíntérben végrehajtott műveletek és az ezek végrehajtása során alkalmazott, pilóta nélküli légitáncúvek között.

Számos fórumon olvasható, hogy a világ modern hadseregeiben eddig is, ezután pedig egyenesen elengedhetetlen a fejlett technológiák alkalmazása, legyen az akár az „egyszerű” lőfegyver, a repülőgép és annak pilóta nélküli változata vagy korunk mindennapi használati eszköze, a számítógép. Mindennapi életünkre jellemző (nem csupán a hadviselésre), hogy nagymértékben alkalmaz kisugárzó elektronikai eszközöket is. Ez a tény támasztja alá azon figyelmeztető hangokat,

¹⁷ nano UAV

melyek arra ösztönzik a mérnököket, jogalkotókat, hogy az elektronikai hadviselés minden területével érdemes foglalkozni, és nem csupán a szemben álló hadseregek "játzmájában".

A publikációmban elhelyeztem az újkori hadviselés térképén az információs műveleteket, bemutattam ennek a hadviselési fajtának az alkotó elemeit. Ezt követően az elektronikai hadviselésről írtam, részletesebben a kompromittáló elektromágneses kisugárzás elleni védelmet, annak felderítését taglalva, melynek a magyar jogszabályi környezetét is megjelenítettem. Majd ezek után kísérletet tettem arra, hogy összefüggést találjak a drónok és az újonnan definiált információs hadszíntér között.

Az írásom időszerűsége azért releváns, mivel az információs társadalom nagyon fejlett, nagyon hatékony, ugyanakkor meglehetősen sebezhető társadalmi, gazdasági rendszer. Sebezhetőségének objektív alapját az adja, hogy ennek a társadalomnak működése szorosan kapcsolódik a globális, nemzeti, regionális és lokális környezethez. Ennek következtében igen erősen függ az információs környezet fejlett, ám erősen korlátozható, vagy sebezhető integrált információs infrastruktúráitól, például a távközlési hálózatoktól és a nagy teljesítményű számítógép hálózatoktól. Ezt az ártó szándékú egyének, csoportok, terroristák és az ellenségek is jól tudják, amit kihasználva, a lehetőségeikkel élve, mindent elkövetnek annak érdekében, hogy az információs társadalom felgyorsult és lüktető életritmusát lecsökkentések, vagy átmenetileg beszüntessék, amivel pánikot, riadalmat keltenek [7].

Napjainkban az ellenérdekelt titkosszolgálatok mellett a bűnözői körök, vagy akár a szolgálatok számára célként megjelenő csoportok és személyek is védik, védhetik titkosítással adataikat, rendszereiket. Mindezek jelentősen megnehezítik, vagy akár lehetetlenné teszik az értelmezhető információkhoz való hozzáférést, amelyek felértékelik a szervezetek rejtjelezéssel, információbiztonsággal, illetve az ellenfél rejtjelezett anyagainak megfejtésével foglalkozó technikai és tudományos területek jelentőségét. A rendelkezésre álló, közvetlenül értékelhető információkka történő átalakítás képessége és lehetősége így alapjaiban kihat a technikai forrásokhoz kapcsolódó információgyűjtő területek eredményeire, eszközeire és jövőbeli fejlődési irányaira. Tisztában kell lenni ugyanakkor azzal is, hogy a SIGINT-et, mint tudományos és technikai módszerekkel és eszközökkel folytatott rádióelektronikai felderítő tevékenységet az ellenség, illetve ellenérdekelt fél is alkalmazza velünk szemben. Az eszközeinkhez kapcsolódó kisugárzott jelekből és kommunikációból levonható következtetések és megállapítások a másik fél számára is értékes információkat eredményezhetnek. [17]

A cikkben leírtakból látható, megállapítható és elgondolkodtató az, hogy napjainkban robbanásszerű fejlődést mutató pilóta nélküli légi járművek, légi jármű rendszerek egyre inkább ezen a területen is teret "kérnek" és kapnak a végrehajtandó feladatokból maguknak. Miután a felhasználó igényeinek és az elérendő célnak legjobban megfelelő szenzor elkészül, már "csak" a rendszert szállító felépítményt kell "alátrakni" és a siker szinte garantált. A szellemi, ipari kapacitás készen áll erre a "kihívásra", már csupán a jogi háttér hiányzik, amely egyértelműsíti, keretekbe foglalja a ki, mit, mikor, hol kérdések megválaszolását nagyban elősegítő autonóm eszközök használatát.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Szun-ce: A háború művészete. Cartaphilus Kiadó, Budapest, 2006. p. 74.
- [2] Hausner Gábor-Padányi József: Kutatások a hadtudományok és a katonai műszaki tudományok területén, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 2013. ISBN 978-615-5305-17-7 p. 17.
- [3] Haig Zsolt: Információ, társadalom, biztonság. Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 2015. ISBN 978-615-5527-08-1. p. 9.
- [4] Várhegyi István – Makkay Imre: Az információs hadviselés alapjai, egyetemi jegyzet, ZMNE, Budapest, 2000. p. 7.
- [5] Mengxiong, Chang: Kínai nézetek a jövő háborújáról. Negyedik rész: A 21. század katonai harci fegyvereinek forradalma. <http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/ndu/chinview/chinapt4.html>
- [6] Haig Zsolt-Kovács László-Ványa László-Vass Sándor: Elektronikai hadviselés, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 2014. ISBN 978-615-5305-87-0 p. 9, 17, 34, 157.
- [7] Haig Zsolt-Várhegyi István: Hadviselés az információs hadszíntéren. Zrínyi Kiadó, Budapest, 2005. p. 156, 69.
- [8] George Seiferth: Hatásalapú információs műveletek. Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények, 9. évf. 4. sz., ZMNE, Budapest, 2005. pp. 17-23.
- [9] Dr. Haig Zsolt: Számítógép-hálózati hadviselés rendszere az információs műveletekben, Bolyai Szemle 2006. 1. szám, ROBOTHADVISELÉS 5. Tudományos Konferencia kiadványa http://uni-nke.hu/downloads/bsz/bszemle2006/1/06_Haig_Zsolt.pdf
- [10] Munk Sándor: Az információs műveletek típusai és modelljei. Hadtudomány, XII. évfolyam 1. szám, 2002. március <http://www.zmne.hu/kulso/mhtt/hadtudomany/2002/1/z-02/chapter1.htm>
- [11] Horváth József: Elektronikai hadviselés a magyar honvédségben, Hadmérnök, 2014. március, IX. évfolyam 1. szám. p.177. http://hadmernok.hu/141_17_horvathj.pdf
- [12] A TEMPEST meghatározása: http://www.tempest.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=65:mi-is-az-a-tempest-&catid=11:cikk&Itemid=1
- [13] A TEMPEST szabványok: http://hubel.net/index.php?option=com_content&view=article&id=23&Itemid=87
- [14] Ország László: Angol-Magyar kéziszótár, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998. p.908. ISBN 963 05 6906X
- [15] Dr. Palik Mátyás: A pilóta nélküli légitárművek katonai alkalmazása, In: Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek, Palik Mátyás (szerk.), Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 2013. ISBN:9789630869232 pp. 281-297.
- [16] Vránics Dávid-Üveges András: Pilóta nélküli légi járművek fejlődése, Felderítő szemle, 2015. ISSN 1588-242X pp.129-132.
- [17] Dr. Dobák Imre (szerk.): A nemzetbiztonság általános elmélete, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 2014. ISBN 978-615-5305-49-8 p. 168.
- [18] Magyar Honvédség Összhaderőnemi Elektronikai Hadviselés Doktrína 1. kiadás, 2004, MH kiadvány. p. 3.
- [19] Haig Zsolt-Kovács László: Kritikus infrastruktúrák és kritikus információs infrastruktúrák, tanulmány, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2012. p. 241. TÁMOP 4.2.2/B-10/1-2010-0001 http://uni-nke.hu/downloads/konyvtar/kovasz/kritikus_infrastrukturak.pdf
- [20] Now Fan Noise Can Be Used To Steal Data From Air-Gapped Computers <http://www.techworm.net/2016/06/now-fan-noise-can-used-steal-data-air-gapped-computers.html>
- [21] Fansmitter: Acoustic Data Exfiltration from (Speakerless) Air-Gapped Computers <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1606/1606.05915.pdf>
- [22] Az UAV lehetséges alkalmazásai (http://hhk.uni-nke.hu/uploads/media_items/infoops-i.original.pdf)
- [23] TEMPEST A 318/2015. (X. 30.) Korm. rendelet 1. §-ával megállapított szöveg.
- [24] Nemzeti Biztonsági Felügyelet: <http://www.nbf.hu/jogszabalyok.html>
- [25] Van Eck Phreaking: <https://www.techrepublic.com/blog/it-security/wim-van-ecks-legacy/>
- [26] TEMPEST meghatározás: <http://www.nbf.hu/tempestmer.html>

THE USE OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS FOR ELECTRONIC WARFARE

Nowadays, the information, its acquisition and possession is the primary key to survival. This value should be managed well. It is important to share it consciously and protect responsibly. Every piece of information is wanted to acquire by someone, trusting that in their possession he can overcome, or defeat his competitors, opponents, perhaps enemies. In this "battle" those can overcome whose assets are more advanced to reconnoitre and interpret data or who has adequate tools, techniques and methods to disguise this important knowledge from prying eyes. The electronics and computer science development brought a number of industries which are specialized to disguise and to acquire this knowledge. These information operations are not only "applied" in the war industry, or in operations but also in civil everyday life. We can see them in the industrial espionage as well. *In the following publications, the author presents a piece of information operations, a possible link between electronic warfare and drones, through relevant domestic and foreign publications given out in this subject, and the author's individual conclusions are included as well.*

Keywords: *unmanned aircraft systems, drones, electronic warfare, information intelligence*

Major Gábor
tanársegéd
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
Fedélzeti Rendszerek Tanszék
major.gabor@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0003-2927-127X

Gábor Major
Assistant lecturer
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
Department of On-Board Systems
major.gabor@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0003-2927-127X



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-22-0490_Major_Gabor.pdf

Molnár István Tamás, Ailer Piroska, Veress Árpád

HIBRID KISREPÜLŐGÉP PROPULZIÓS RENDSZER-ELEMEINEK MODELLEZÉSÉRE ALKALMAS MÓDSZER KIDOLGOZÁSA

Napjainkban, a járművekben alkalmazott korszerű belsőégésű motoroknak köszönhetően az üzemanyag-fogyasztás mértéke jelentősen lecsökkent, azonban még így is jelentős mértékű az emberek által napi szinten felhasznált energia mennyisége, ami a környezetünkre és az életvitelünkre is káros hatással van. Ezekre a problémákra kínálnak megoldást a napról napra korszerűbb és hatékonyabb, egyre jobb hatásfokkal rendelkező villanymotorok, amelyek a személygépjármű-iparban elért úttörő felfedezésüknek és sikeres alkalmazásuknak köszönhetően bizonyítottan megállják a helyüket leginkább egy hibrid rendszer részeként – környezetbarát módon történő elektromos energia előállítás esetén – akár önmagukban alkalmazva is. A gépjárművekben való elterjedés után felmerül bennünk a gondolat, vajon megvalósítható ezeknek a rendszereknek az üzemanyag-takarékosabb és gazdaságos alkalmazása repülőgépek esetében is? Erre a kérdésre keressük a választ ebben a tanulmányban egy olyan rendszer alapjainak megalkotásával és ismertetésével, amely alkalmazásával, valamint szükség esetén továbbfejlesztésével vizsgálhatók a korszerűbb hibrid, vagy akár teljesen elektromos hajtások hatékonysága.

Kulcsszavak: légszavar, kisrepülőgép, normalizált hatótávolság tényező, hibrid, elektromos

BEVEZETÉS

Egy mai, korszerű villanymotor számos előnnyel rendelkezik egy belső égésű motorhoz képest: Az általunk vizsgált Emrax és Yasa típusú motorok a teljes nyomatékot azonnal le tudják adni álló helyzetből indulva, szélesebb sebességi tartományban működtethetőek, nagy hatásfokkal rendelkeznek, könnyebben karbantarthatók és működésük során pedig nem bocsátanak ki káros anyagot. Nem véletlen tehát, hogy alkalmazásuk magától értetődő lenne repülőgépek esetén is, azonban ezek alkalmazása a tudomány jelenlegi álláspontja szerint csak a jövőben válhat elérhetővé, ugyanis a napjainkban elérhető akkumulátorok energiasűrűsége kicsi, így ezek tömege is nagy.

Ezt a problémát ezek helyi töltésével tudjuk kiküszöbölni, amelyre több forrás is rendelkezésünkre áll. Számos megoldás mellett napjainkban rendelkezésre álló technológia szerint leginkább üzembiztosnak és gazdaságosnak egy belsőégésű motorral együtt való alkalmazása, és azzal való töltése tűnhet a legjobb megvalósítható konstrukciónak. Habár így némi üzemanyag elégetése mindenképp szükséges a rendszer működéséhez, így is jelentős mértékben csökkenthető a jármű károsanyag-kibocsátása, a jövőbeli fejlesztésekkel pedig ez tovább is javulhat.

Az elektromos repülőgépek története meglepően régre nyúlik vissza, egészen az 1880-as évekig. Arthur Krebs és Charles Renard együttműködésének köszönhetően 1884-ben újtára indult az első irányítható La France névre keresztelt léghajó, aminek fedélzetén egy 6 kW-os villanymotor és egy 435 kg tömegű akkumulátor volt elhelyezve. Ennek köszönhetően a szerkezet 8 km-t tett meg 23 perc alatt, és ugyanott landolt, ahol felszállt [1].

A fejlesztések azonban más irányba indultak el, így a villanymotor meghajtású repülőgépek reneszánszára egészen az 1970-es évekig várni kellett. Robert Boucher, aki úttörőnek számított

ezen a területen, ekkor kezdte el alkalmazni a villanymotorokat pilóta nélküli, napelemes modell repülőgépben a Defense Advanced Research Projects Agency-vel (DARPA) szerződésben. Később ő és Paul McCready fejlesztette ki a napelemmel és 3,7 kW-os villanymotorral rendelkező Gossamer Penguin. A felszálláshoz elegendő 4400 W energiát csak napelemekkel állította elő, felszállás után pedig 4300 m magasan 64 km/h-val haladt 5 órán és 270 km-en keresztül, mindezt üzemanyag felhasználása nélkül [1].

Később az AeroVironment épített többféle személyzet nélküli, sokkal nagyobb méretű, napenergiát felhasználó repülőgépet. A sort a Heliox nevű repülő zárta, amely 75 m fesztávolsággal rendelkezett, a szárnyon pedig 14 motor volt elhelyezve. A végleges célja a projektnek az volt, hogy a napközben termelt energiát eltárolják az éjszakai repüléshez, azonban ezt nem sikerült elérni. Egy későbbi konstrukció, amely repülő a Global Observer nevet kapta meg, egy hibrid rendszerrel rendelkezett, amelyben egy nagy hatásfokú hidrogént felhasználó dugattyús motor hajt meg egy generátort, amit a négy villanymotor hajtásához alkalmaztak. A számítások szerint a repülő öt napig maradt volna a levegőben részben azért, mert a hidrogén segítségével működtetett motorok jelentősen hatékonyabbak, mint a benzin vagy dízel üzeműek. Ettől függetlenül annak a repülőnek az ötlete, amelyik nem használ fel üzemanyagot a repüléshez, továbbra is lázban tartja a kutatókat. Ennek eredményeként például egy svájci csapat átrepülte az Alpokat egyedül napenergia felhasználásával, egy másik pedig egy olyan repülő terveit jelentette be, név szerint Solar Impulse-t, amellyel a Földet tervezik megkerülni. [1]

A későbbiekben több terv is napvilágot látott, ahol például a belsőégésű motort helyettesíti egy villanymotor, mellé pedig akkumulátorokat helyeznek el. Ezek már ismert technológiák, és alkalmazásuk egyszerűnek tűnhet, a megvalósításuk azonban nehezebb, mint amilyennek elsőre látszik.

A HIBRID RENDSZER

A hibrid rendszer célja, leírása

A belsőégésű motorok viszonylag rossz hatásfokkal és magas fogyasztással üzemelnek, amelyek a környezetükre is negatív hatással vannak a nagy károsanyag-kibocsájtás és nagy zajterhelés miatt. Ezek kiváltására született meg a tisztán elektromos hajtású járművek alkalmazásának ötlete, amelynek eredményeként már több koncepció is sikeresen alkalmazásra került a kereskedelemben a személygépjárművek esetében. Ennek hatására felmerül ezeknek a rendszereknek repülőgépekben való alkalmazásának lehetősége. Sajnos a technológia jelenlegi álláspontja szerint a repüléshez elegendő energia biztosítása csak nagy mennyiségű akkumulátor cella alkalmazásával oldható meg, mert kis energiasűrűséggel rendelkeznek, ennek következtében pedig a tömegük is nagy. Az 1. táblázatban egy szakdolgozat [2] által összefoglalt értékeket tüntettük fel.

Itt jól látható, hogy a legnagyobb fajlagos energiasűrűséggel a Lítium- Ion akkumulátorok rendelkeznek, de még ez is csak 0,2 kWh/kg. A következőkben így egy egyszerű példában nézzük meg, egy repülőgép esetében mennyi lenne a repüléshez szükséges energia. Ennek meghatározásához a [3] tanulmányban található egyenletet alkalmaztuk:

$$E_{akku} = P_T * t_{rep}. \quad (1)$$

Tegyük fel, hogy egy repülőgép $V = 300$ km/h sebességgel való repüléséhez $P_T = 400$ kW

tengelyteljesítményre van szükségünk. A repülési távolságot ebben a példában válasszuk meg 2500 km-nek, amit a megadott sebességgel

$$t_{rep} = \frac{2500}{300} = 8,33 \text{ h} \quad (2)$$

Kémia	Anód	Katód	Elméleti értékek				Gyakorlati értékek		
			Cellafe-szültség V	g/Ah	Ah/kg	Fajlagos energia sűrűség [Wh/kg]	Névleges cellafe-szültség [V]	Fajlagos energia sűrűség [Wh/kg]	Térfogati energia sűrűség [Wh/l]
Ezüst-Cink	Zn	AgO	1,85	3,53	283	524	1,5	105	180
Nikkel- Kadmium	Cd	Ni oxid	1,35	5,52	181	244	1,2	35	100
Nikkel- Metál Hibrid	MH*	Ni oxid	1,35	5,63	178	240	1,2	75	240
Nikkel- Hidrogén	H ₂	Ni oxid	1,5	3,46	289	434	1,2	55	60
Lítium- Ion	Li _x C ₆	Li (i-x) CoO ₂	4,1	9,98	100	410	4,1	200	400

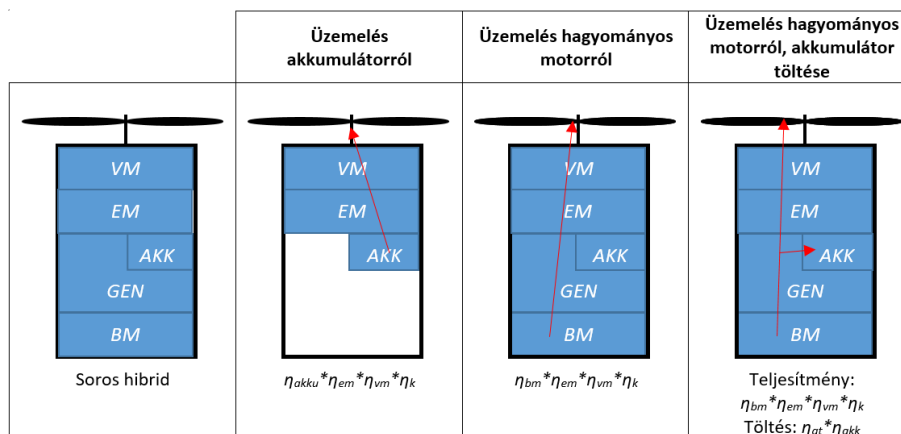
1. táblázat Különböző akkumulátor típusok tulajdonságai [2]

alatt teljesítené. Az így kapott t_{rep} repülési időt és a $P_T = 400 \text{ kW}$ értékét behelyettesítve az (1) képletbe megkapjuk, hogy

$$E_{akku} = 400 * 8,33 = 3332 \text{ kWh}$$

lenne a szükséges energiamennyiség, ez pedig $\rho_{energia} = 0,2 \text{ kWh/kg}$ fajlagos energiasűrűséget feltételezve azt jelenti, hogy az akkumulátor tömege:

$$m_{akku} = \frac{E_{akku}}{\rho_{energia}} = \frac{3332}{0,2} = 16660 \text{ kg} \quad (3)$$



1. ábra Soros hibrid elrendezés [4]

Ez túl sok, így a tisztán elektromos hajtás alkalmazása jelenleg csak a technológia fejlődésével lesz elérhető. Ekkor válik célszerűvé egy hibrid rendszer alkalmazása, amelynek lényege, hogy az elektromos mellett egy belsőégésű hajtás (pl. dugattyús motor és/vagy gázturbina) is megtalálható a rendszerben.

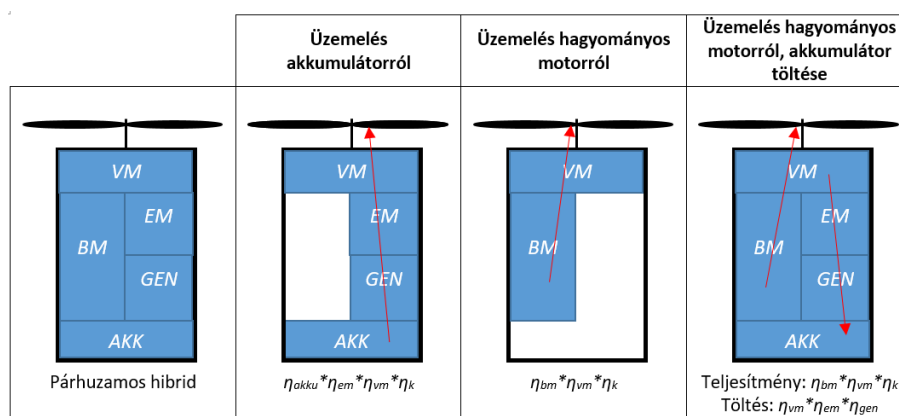
Hibrid hajtásrendszerek esetén az erőátvitel kapcsolata szerint kettő fajtát különböztetünk meg: Soros és párhuzamos elrendezésű.

Soros elrendezés esetén a jármű mozgatásához szükséges vonóerőt előállító propulziós eszköz egy elektromos motorral van meghajtva. Ez üzemelhet akkumulátorról, vagy egy belsőégésű motor által hajtott generátorról táplálva. Ezen üzemmódok a hatásfokok feltüntetésével a 1. ábrán találhatóak a [4] tanulmány felhasználásával, ahol VM a váltóműnek, EM az elektromotor, AKK az akkumulátornak, GEN a generátornak, és BM a belsőégésű motornak felel meg.

Párhuzamos elrendezés esetén az elektromos és belsőégésű rendszer is képes leadni a teljesítményt a váltóművön keresztül. Ennek felépítése az 2. ábrán látható.

A hajtáshoz felhasznált energiaforrás aránya adja meg a rendszer hibridizációjának mértékét. Ha egy hibrid jármű csak üzemanyagot használ energiaforrásként, akkor azt 0%-ban, ha pedig csak elektromos energiát, akkor 100 %-ban hibridnek tekintjük. Szintén a [4] tanulmány felhasználásával vezessük be a jármű hibridizációs értékét, ezt jelöljük x -szel. Ennek értéke, 0 és 1 között változhat, tehát

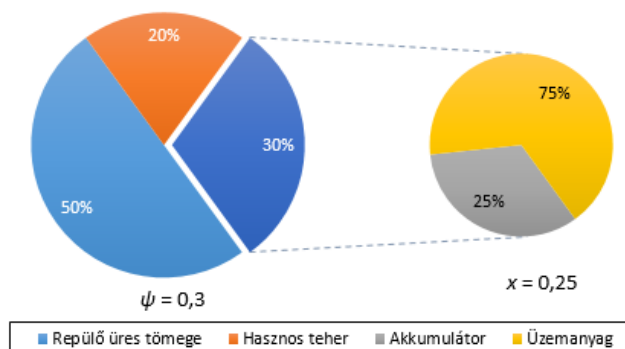
$$x \in \{0; 1\} \tag{4}$$



2. ábra Párhuzamos hibrid elrendezés [4]

Ha $x = 0$, akkor a jármű csak fosszilis eredetű üzemanyaggal, ha $x = 1$, akkor pedig csak villamos energiával üzemel.

Ugyanígy vezessük be a ψ energia tömeghányadot, ami megmutatja, hogy a felhasznált üzemanyag és akkumulátor összesen hány százalékát teszi ki a teljes tömegnek. Ezt reprezentáljuk a 3. ábrán $\psi = 0,3$ esetre:



3. ábra Energia tömeghányad és hibridizáció mértéke közti kapcsolat [4]

A hibrid rendszerrel szembeni követelmények és elmélet példák a megvalósításra

A rendszerrel szemben a következő követelményeket tudjuk felállítani: Az elektromos komponensek használatával csökkentjük a jármű fogyasztását és környezeti terhelését úgy, hogy ezzel a járműre fordítandó összköltség is alacsonyabb legyen. A repülés teljes idejének legnagyobb részét az utazással töltött idő teszi ki, így az ez alatt elhasznált energia mennyiség csökkentése fontos cél, azonban később, más kombinációk hatását is érdemes megvizsgálni. Elsőként, az összehasonlíthatóság érdekében, néhány fogyasztási adatot tüntettünk fel szintén a korábban meghatározott $V = 300$ km/h sebességre, és 2500 km távolságra a 2. táblázatban az [5] [6] [7] [8] [9] [10] referenciák alapján, ahol *DM* a dugattyús, *TL* pedig a turbólégcsavaros hajtóműveket jelöli.

Hajtómű	Típus	P_T [kW]	B_T [kg/h]	t_{rep} [h]	$m_{üz.a}$ [kg]
Lycoming IO-720A	<i>DM</i>	300	92,27	8,33	768,61
Lycoming O-360A	<i>DM</i>	100	27,21		226,66
Lycoming O-540K	<i>DM</i>	223	65,31		544,03
Rolls-Royce RR500	<i>TL</i>	260	107,48		895,31
PBS TP100	<i>TL</i>	140	76,83		640
Allison T63-A-5	<i>TL</i>	170	79,56		662,74

2. táblázat Hajtómű fogyasztási adatok 2500 km hatótávolságra és 300 km/h repülési sebességen

A legkorszerűbb hibrid rendszerekben már párhuzamos elrendezést szoktak alkalmazni, ami bonyolultabb és mellette nagyobb tömege is van, viszont a szélesebb körű szabályozhatósága miatt jobb hatásfokkal működik és több üzemanyag takarítható meg [11]. Ebben az elrendezésben a villanymotor és a belsőégésű motor egy differenciál művet hajt meg, így ezek nyomtérka és teljesítménye összeadódik, ezért akár két kisebb teljesítményű motor is alkalmazható együttesen, csökkentve ezzel az üzemanyag-fogyasztást. Példának elektromos motornak válasszunk egy Emrax 268 típusú motort, ami 70 kW folyamatos teljesítmény-leadásra képes [12], ezt kombináljuk kisebb teljesítményű motorokkal, amelyeket a 2. táblázatból választottunk ki. Felhasználva egy repülőgép üres tömegét, amit ebben a példában 2008 kg-nak és a hasznos terhet 900 kg-nak megválasztva a 3. táblázatban összesítettük ψ értékeket $x = \{0,25; 0,5; 0,75; 1\}$ esetekre.

Hajtómű	P_T [kW]	x	$m_{üz.a}$ [kg]	m_{akku} [kg]	$m_{energia}$ [kg]	$MTOW$ [kg]	ψ
Emrax 268	70	0,25	170	971	1141	4049	0,28
		0,5	113,33	1941	2055	4963	0,41
Lycoming O-360A	100	0,75	56,67	2917	2973	5881	0,51
		1	0	3887	3887	6795	0,57
Emrax 268	70	0,25	480	971	1451	4359	0,33
		0,5	320	1941	2261	5169	0,44
PBS TP100	140	0,75	160	2917	3077	5985	0,51
		1	0	3887	3887	6795	0,57
Emrax 268	70	0,25	497,06	971	1468	4376	0,34
		0,5	331,37	1941	2273	5181	0,44
Allison T63-A-5	170	0,75	165,69	2917	3082	5990	0,51
		1	0	3887	3887	6795	0,57

3. táblázat Energia tömeghányad hibridizáció mértékével való összehasonlítása

Ezek az értékek természetesen csak reprezentatív jellegűek, hiszen ha a repülőgép tömege növekszik, akkor a repüléshez szükséges teljesítménynek is növekednie kell, ráadásul $x = 1$ esetben csak a 70 kW teljesítményű villanymotor alkalmazása semmiképpen sem lenne elegendő a repülő mozgatásához, így egyes esetekben a fenti hajtómű-kombinációk már nem tudnának

elegendő teljesítménnyel szolgálni. Mindenesetre a 3. táblázatból ki tudjuk olvasni, hogy x érték növekedésével ψ értéke is növekszik. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a nagyobb mértékű elektromos meghajtás alkalmazása a hasznos teher csökkentésével jár, ami egyet jelent az elszállítható személyek számának, vagy a hasznos teher mennyiségének csökkenésével is, így tisztán elektromos repülőt alkalmazni a tudomány jelenlegi állása szerint nem lenne gazdaságos, alkalmazásuk a technológia fejlődésével válhat elérhetővé.

A fentiekből következően kizárólag a hibrid hajtás megvalósítás tűnik reális elképzelésnek, azonban a jelen munkában egy olyan módszer kidolgozására helyezük a fő hangsúlyt, amely képes a villamos, a dugattyús motoros és a gázturbinás hajtóművek esetén meghatározni a szükséges teljesítmény ismeretében a gép hajtásához szükséges üzemanyag mennyiségét, akkumulátor tömegét, valamint a propulziós rendszerek esetén az egyik legfontosabb paramétert a normalizált hatótávolság tényezőt (*NHT*). A *NHT* a hajtómű, valamint az adott távolság megtételéhez szükséges üzemanyag tömegének összegével és a tolóerő hajtóműgondola ellenálláserejével csökkentett hányadosával egyezik meg (43). Minél kisebb az *NHT* értéke a repülési sebesség függvényében adott hatótávolság esetén annál hatékonyabb a propulziós rendszer.

REFERENCIA REPÜLŐGÉP

Ahhoz, hogy a fent említett számítási módszert ki tudjuk dolgozni, kiválasztottunk egy referencia repülőgépet. Kiválasztáskor a fő szempont volt a repülőgéppel szállítható személyek száma, a sárkányszerkezet kialakítása, a saját tömege, és az egyes rendszerek elhelyezésének megoldhatósága.

Géptípus kiválasztása

Tekintettel a légi jármű iránt támasztott feltételek kielégítésére, illetve a mai igényeket kielégítő korszerű konstrukcióra, az ESPOSA projektben figyelembe vett repülőgépet választjuk ki referencia repülőgépnek, amelynek modellje a 4. ábrán látható [13]. Ennek a projektnek a célja az új tervezési és gyártási technológiák kialakítása és integrálása a kisebb teljesítményű gázturbinás hajtóművek esetén annak érdekében, hogy a repülőgép gyártóknak modernebb propulziós egységek szélesebb és jobb választékát biztosítsák.



4. ábra Az Esposa projektben figyelembe vett repülőgép modell

Emellett olyan hajtómű rendszerekkel is foglalkozott, amelyek hozzájárulnak a teljes meghajtó egység hatékonyságának, biztonságának és a pilóta munkaterhelésének csökkentéséhez. A hajtómű és a sárkány szerkezet-integrációja során kifejlesztett tervezési eszközök és módszerek által a projekt jelentősen hozzájárul az új gázturbinás hajtóművek repülőgépekbe történő beépítéséhez [13].

Szükséges teljesítmény meghatározása

A számítási eljárás felépítéséhez először is meg kell határozni a repülőgép repülési paramétereit. Az ESPOSA projektben alkalmazott repülőgép specifikációja szerint utazó állapotban, $V = 112$ m/s sebességen és $H = 3048$ m magasságban, egy hajtóműnek pedig $P_T = 364$ kW tengelyteljesítmény előállítására szükséges a repülőgép repüléséhez. Azért, hogy tudjuk, mekkora vonóerőt kell előállítanunk a különböző sebességeken, meg kell határozni a gép ellenállás erejét, amely két hajtómű esetén a következőképpen alakul:

$$T = D = \frac{P_T \cdot \eta_k}{V} = C_D V^2 \frac{\rho_{lev}}{2} S = \frac{2 \cdot 364000 \cdot 0,856}{112} = 5564 \text{ N} \quad (5)$$

ahol a hajt C_D az ellenállás-tényező, V a repülési sebesség, ρ_{lev} a levegő sűrűsége, S a szárny levegő által súrolt felülete, és D az ellenállás ereje a gépnek és megegyezik a szükséges vonóerővel, η_k pedig az összhatásfok, ami számított érték (lásd 6. táblázat).

Utazómagasságon a C_D , ρ_{lev} és S értékek állandóak tekintettük, ezért egy

$$k = C_D \frac{\rho_{lev}}{2} S \quad (6)$$

konstanst vezetünk be, amely használatával több sebességre is meghatározzuk a D ellenállás erőit. Fontos megjegyezni, hogy C_D értéke függ a C_L és α állásszög értékétől, alacsonyabb sebességeken pedig nagyobb állásszöggel repülünk, így C_D értéke is változik, azonban ettől ebben a tanulmányban eltekintettünk. A légcsvár teljesítményét a későbbiekben egy hajtóműre vonatkoztatva számoltuk, ezért az (5) képletben kapott ellenállás erő felét, tehát $D = 2782$ N értéket vettünk figyelembe, mivel egy légcsvarnak ekkora vonóerőt kell létrehozni a repüléshez utazó állapotban. Így (5) képlet átrendezésével és (6) behelyettesítésével

$$k = \frac{D}{V^2} = \frac{2782}{112^2} = 0,222 \quad (7)$$

eredményt kapunk. (7) képletet átrendezve meghatározható az ellenállás erő különböző sebességeken és egy légcsvarra vonatkozóan, amelyeket a 4. táblázatban tüntettük fel:

M	0,15	0,2	0,25	0,3	0,34	0,4	0,41
V [m/s]	49,27	65,69	76,53	82,11	98,54	112	131,38
D [N]	538,34	957,05	1495,39	2153,37	2782,00	3828,21	4022,01

4. táblázat Az ESPOSA projektben figyelembe vett repülőgép modell ellenálláserejének a fele adott repülési sebességen

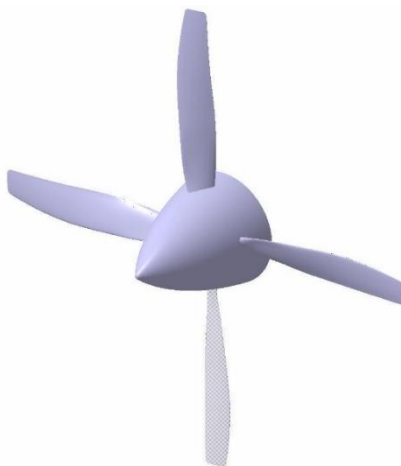
REFERENCIA LÉGCSAVAR

Az *NHT* meghatározásához fontos adat a légcsvár által létrehozott vonóerő. Ennek kiszámítása egy a jelen munka keretében elkészített MATLAB program segítségével történt meg,

amely helyességét a partner intézmény által szolgáltatott AV-844-1-E-C-R-(P) típusú légsavár (lásd 5. ábra) paramétereivel ellenőrizzük le. A légsavár adatai az 5. táblázatban lettek feltüntetve, amelyek meghatározásához 3D CAD modellt használtunk fel.

sugár - r [m]	húrhossz - c [m]	Légsavár profilok elcsavarási szöge - ϑ [°]
0,208	0,11187	33,8675918
0,26	0,12723	32,07569183
0,312	0,13812	30,10166197
0,364	0,14608	27,98061983
0,416	0,15198	25,74768307
0,468	0,15545	23,4379693
0,52	0,159	21,08659618
0,572	0,16004	18,72868133
0,624	0,16161	16,39934238
0,676	0,16016	14,13369697
0,728	0,15731	11,96686274
0,78	0,154	9,933957321
0,832	0,14805	8,070098342
0,884	0,14097	6,410403441
0,936	0,13196	4,989990251
0,988	0,12012	3,843976408
1,04	0,11	3,007479544

5. táblázat AV-844 légsavár geometria



5. ábra AV-844 propeller

A légsavár számításához szükségünk lesz a C_L - α és C_D - α görbékre, amelyek az intézmény szerint megfeleltethetők a NACA 4412 szárnyprofil görbéivel a légsavár 75%-ában, így az elcsavarásából eredő szárnyprofil megváltozásától eltekintettünk a sugár függvényében. Az említett szárnyprofil görbéi interneten [14] elérhetőek, ezeket a 6. ábrán ábráztuk.

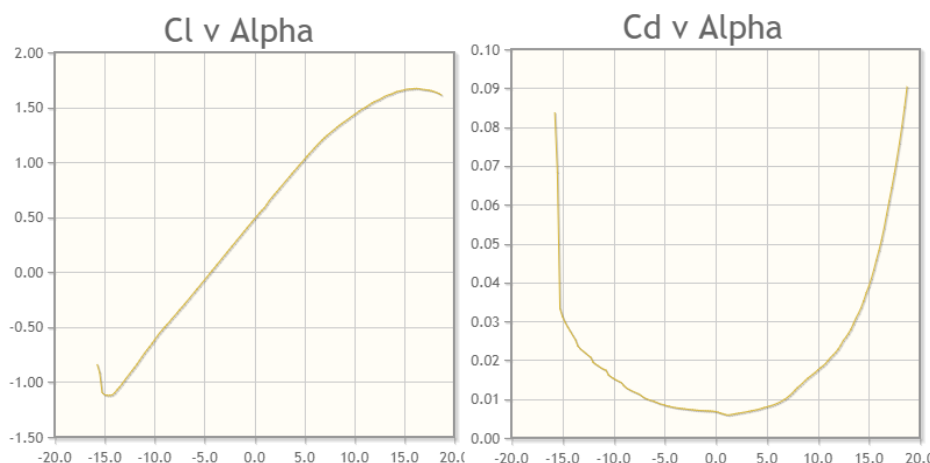
A későbbi számításokhoz szükségünk lesz ezek pontos függvényeire is, amelyeket Dr. Gausz Tamás Egyetemi Docens Tanár Úr biztosította számunkra:

$$C_L = 6,052(\alpha + 0,06685), \quad (8)$$

$$C_D = 0,0099931245 - 0,010127944\alpha + 0,41481317\alpha^2 + 0,78787907\alpha^3, \quad (9)$$

ahol

$$\alpha = \beta - \varphi. \quad (10)$$



6. ábra NACA 4412 profil C_L - α és C_D - α görbéi [14]

Itt β a beállítási szög, ami a ϑ lapátelcsavarási szög és β_0 lapát elforgatási szög összegéből adódik ki, a szögek pedig radiánban vannak.

Nagyobb fordulatszámon figyelembe kell vennünk a hangsebesség feletti kerületi sebesség következtében az áramlások leválását a lapátról, így (9) képlet a következőképpen módosul:

$$C_D = 0,0099931245 - 0,010127944\alpha + 0,41481317\alpha^2 + 0,78787907\alpha^3 + C_{Dhullám}$$

A $C_{Dhullám}$ számításához tanszéki oktatási segédletet [15] használtunk fel, miszerint ez az érték függ a repülési Mach-számtól, a szárny vastagságától és trapézviszonyától, tehát

$$\frac{C_{Dhullám}}{\frac{5}{t^3}} = f\left(\frac{M^2-1}{\frac{2}{t^3}}, AR^3\sqrt{\bar{t}}\right) \quad (11)$$

Az egyenletben \bar{t} a relatív vastagság, amelynek a képlete:

$$\bar{t} = \frac{t}{c} \quad (12)$$

ahol t a szárnyprofil legnagyobb vastagsága, c pedig a húrhossz. A (11) egyenletben a másik ismeretlen az AR trapézviszony:

$$AR = \frac{b^2}{S_{lcs}} \quad (13)$$

S_{lcs} a szárny felülete, valamint:

$$S_{lcs} = \sum \frac{(c_i + c_{i-1}) \cdot (r_i - r_{i-1})}{2} \quad (14)$$

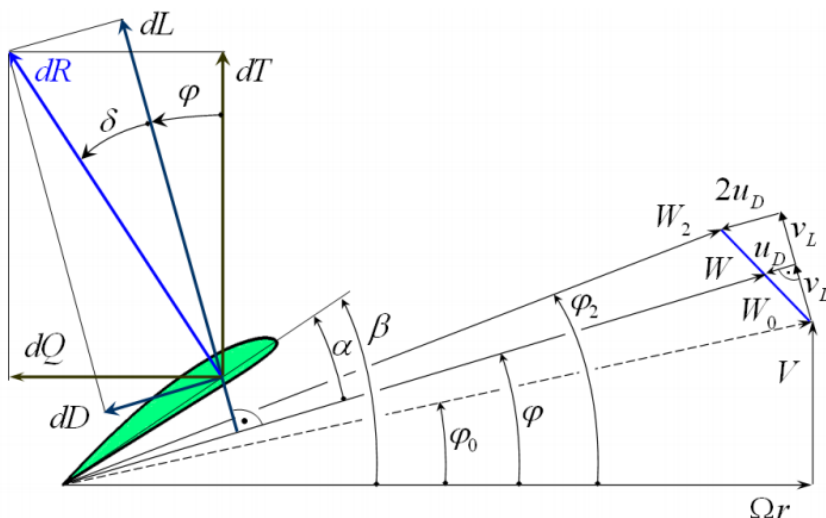
képlettel számoltunk. b a fesztávot jelöli.

Ezt követően a segédlet 3.1.1.5 diagramjáról leolvashatóak a $\frac{C_{Dhullám}}{\bar{t}}$ értékek. Ez a módszer viszont csak az

$$M_{cr} = \sqrt{1 - 1,8\bar{t}^{\frac{2}{3}}} \leq M \leq \sqrt{1 + 1,8\bar{t}^{\frac{2}{3}}} \quad (15)$$

intervallumon alkalmazható. Ismerve a profil relatív vastagságát, ami $\bar{t} = 0,12$ [14], ez azt jelenti, hogy az első lökéshullám kb. 2258 RPM fordulatszámnál jelenik meg, és egészen kb. 3611 RPM fordulatszámig használható a számítási folyamat.

A (10) képletben megtalálható φ értékének számításához a Schmitz-féle egyesített impulzus és lepelem elméletet használtuk fel tanszéki jegyzet [16] alapján, mivel ez adja vissza a legpontosabb értéket. Ennek sebességi háromszögei és erővektorai a 7. ábrán vannak feltüntetve:



7. ábra A légcsvár lepelem Schmitz-féle sebességi sokszöge [16]

A számítás alapegyenlete a következő:

$$FC_{L_\infty} - \left[\frac{4}{\sigma} \sin\varphi + C_D \right] \tan(\varphi - \varphi_0) = 0 \quad (16)$$

A tanszéki jegyzet [16] szerint, ha a képletbe beírjuk a megoldást jelentő (C_L, φ, C_D) érték-hármas, akkor az egyenlet nullával lesz egyenlő. Ha azonban a megoldástól eltérő értékekkel próbálkozunk, akkor nullától különböző értéket, reziduumot kapunk:

$$FC_{L_\infty} - \left[\frac{4}{\sigma} \sin\varphi + C_D \right] \tan(\varphi - \varphi_0) = \Re \quad (17)$$

A (17) egy nemlineáris egyenlet, amelyben a (C_L, φ, C_D) érték-hármas lényegében egyetlen ismeretlen jelent, hiszen a felhajtóerő-tényező és az ellenállás-tényező értéke egyaránt a φ -szög értékétől függ. A numerikus számítást például a Newton-iteráció segítségével végezhetjük:

$$\varphi_{új} = \varphi_{rég} - \frac{\Re}{\left(\frac{\partial \Re}{\partial \varphi} \right)} \quad (18)$$

ahol

$$\frac{\partial \Re}{\partial \varphi} = \frac{\partial F}{\partial \varphi} C_{L_\infty} + F \frac{\partial C_{L_\infty}}{\partial \varphi} - \left[4 \frac{\cos\varphi}{\sigma} + \frac{\partial C_D}{\partial \varphi} \right] \tan(\varphi - \varphi_0) - \left[4 \frac{\sin\varphi}{\sigma} + C_D \right] [1 + \tan(\varphi - \varphi_0)^2] \quad (19)$$

A számítási eljárás során a V sebesség, n fordulatszám, r sugarak, B lapátszám, β beállítási szög és c húrhossz adatok azok a paraméterek, amiket meg kell adnunk. Eredményül pedig megkapjuk az axiális v és tangenciális u indukált sebességeket, iteráció elvégzése után a φ , C_L és C_D értékeket, T vonóerőt, η_k hatásfokot, a légcsvár forgatásához szükséges P_{LCS} teljesítményt, ezekből pedig meg tudjuk határozni a P_T tengelyteljesítményt is. Így első lépésben kijelöltünk egy munkapontot, amit a Mach számmal adtunk meg, ebből meghatározható az adott repülési sebesség:

$$V = M * a, \quad (20)$$

ahol

$$a = \sqrt{\kappa_{lev} * R_{lev} * T_{lev}}. \quad (21)$$

Ezután meghatározandó az 5. ábrán feltüntetett φ_0 , ami a $V - U - W_0$ sebességi háromszög szöge, és

$$U = \Omega r = 2 * \pi * n * r, \quad (22)$$

amely képletben n a propeller fordulatszáma, r pedig egy lapátelelem sugara. V a repülési sebesség, ami adott, így tangens szögfüggvény alkalmazásával meghatározható φ_0 szög:

$$\varphi_0 = \tan^{-1} \left(\frac{V}{U} \right) \quad (23)$$

Ezután β értékét megválasztjuk, φ -t pedig (18) Newton-iterációval határoztuk meg. Az iteráció során β és φ különbségéből kiadódik az α állásszög, amit behelyettesítve (8) (9) függvényekbe megkapjuk C_L és C_D értékeit is, így többszöri iteráció után \Re értéke nullához közelít, így megkapjuk a véglegesen használandó (C_L, φ, C_D) érték-hármaszt. A számítási eljárást szintén [16] tanszéki jegyzet alapján folytattuk.

Az axiális indukált sebesség meghatározásához a következő összefüggést alkalmaztuk:

$$v = v_L \cos \varphi - u_D \sin \varphi; \quad (24)$$

ahol a felhajtóerő irányú sebesség összetevő:

$$v_L = W_0 \sin(\varphi - \varphi_0), \quad (25)$$

az ellenálláserő irányú sebesség összetevő pedig:

$$u_D = \frac{\sigma}{4} \frac{C_D}{\sin \varphi} W. \quad (26)$$

Itt a szárnyprofil W eredő sebessége:

$$W = W_0 \cos(\varphi - \varphi_0) - u_D, \quad (27)$$

a σ befedési tényező pedig:

$$\sigma = \frac{Bc}{2\pi r}, \quad (28)$$

ahol B a lapátszám, c a húrhossz, r pedig a lapátelelem sugara.

A (27) képletet u_D -re rendezve és behelyettesítve (26) képletbe, kiszámolható lesz a W eredő sebesség. Ezután szintén (26) képlet felhasználásával u_D is számíthatóvá válik.

Hasonlóan, meghatározható a tangenciális indukált sebesség is:

$$u = v_L \sin \varphi + u_D \cos \varphi. \quad (29)$$

Ezt a számolási folyamatot pedig külön-külön elvégeztük az 5. táblázatban megadott r sugarakra.

Miután minden lapátelelem sugárra meghatároztuk a tengelyirányú indukált sebességeket, a vonóerő számítható, amit az egyes elemi körgyűrű felületeken kialakult erők összegzésével határoztunk meg:

$$T = \sum \rho_{lev} A_{i,lcs} (V + \bar{v}_i) 2\bar{v}_i, \quad (30)$$

ahol a körgyűrűkön ébredő átlagos axiális indukált sebesség:

$$\bar{v}_i = \frac{v_i + v_{i-1}}{2}, \quad (31)$$

a környűrűk felülete pedig:

$$A_{i,lcs} = (r_i^2 - r_{i-1}^2)\pi. \quad (32)$$

Ezután meghatározható a propeller forgatásához szükséges teljesítmény:

$$P_{LCS} = T * V. \quad (33)$$

A tengelyteljesítmény az összehatásfokon keresztül adódik át a légcsavarnak:

$$\eta_k = \eta_p \eta_u \eta_{pr}, \quad (34)$$

ahol η_p a propulziós, η_u a kerületi, η_{pr} pedig a profil hatásfok. Az egyes hatásfokok számítása a következő felületátlagolási eljárással történt:

$$\eta_p = \frac{\Sigma \left(A * \left(\frac{1}{1+\bar{v}} \right) \right)}{\Sigma A}, \quad (35)$$

$$\eta_u = \frac{\Sigma \left(A * \left(\frac{1}{1-\hat{u}} \right) \right)}{\Sigma A}, \quad (36)$$

$$\eta_{pr} = \frac{\Sigma \left(A * \left(\frac{\tan \varphi}{\tan(\varphi + \delta)} \right) \right)}{\Sigma A}, \quad (37)$$

ahol

$$\hat{u} = \frac{u}{U}, \quad (38)$$

$$\delta = \frac{C_D}{C_L}. \quad (39)$$

Így a tengelyteljesítmény a

$$P_T = \frac{P_{LCS}}{\eta_k} \quad (40)$$

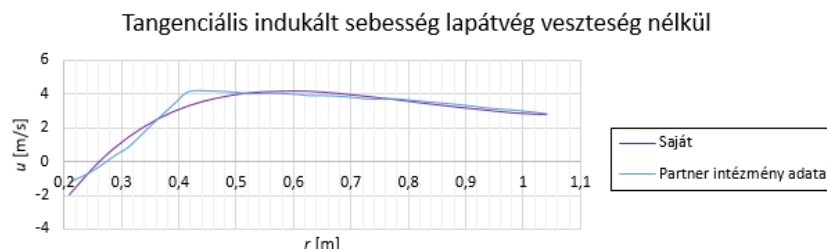
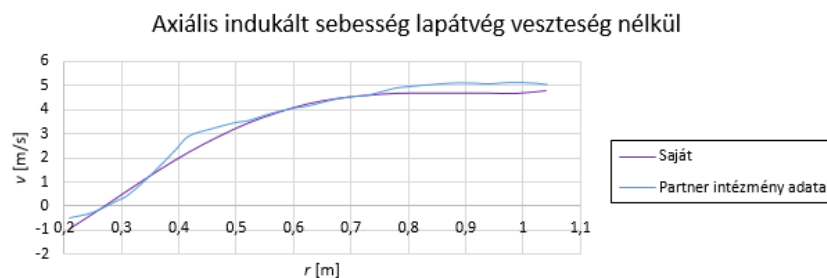
egyenlettel meghatározható.

A dolgozat következő részében a fent bemutatott számítás pontosságát ellenőrizzük le. Az ESPOSA projekt keretében résztvevő partner intézménytől származó $V = 112$ m/s repülési sebességen, $n = 1950$ RPM fordulatszám, $B = 4$ db lapátszám esetén, illetve lapátvég veszteség elhanyagolásával érvényes eredményeket a 8. ábrán hasonlítottuk össze a saját értékekkel. A lapát β_0 elforgatási szöge a kapott adatok alapján 28.59° , így a beállítási szög:

$$\beta = \beta_0 + \vartheta \quad (41)$$

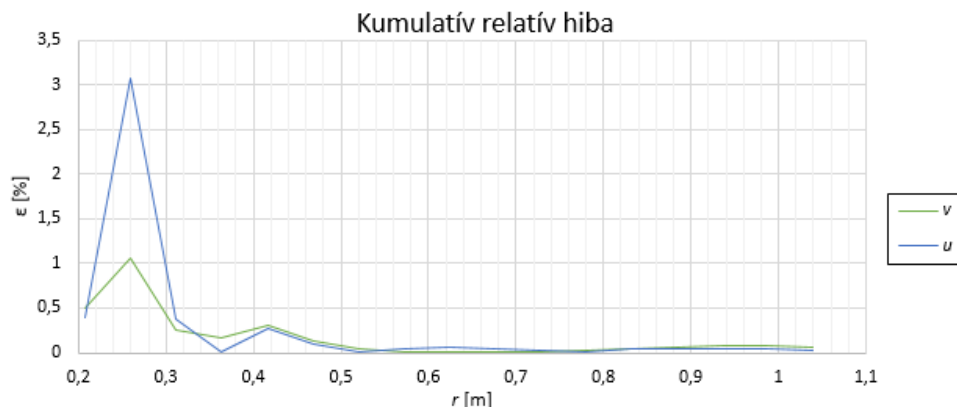
A kapott és a saját értékek közötti eltérés kiértékeléséhez a kumulatív relatív hibát alkalmaztuk:

$$\varepsilon = \frac{1}{r} \int \sqrt{\frac{(v_{i,saját} - v_{i,kapott})^2}{v_{i,saját}^2}} dr \quad (42)$$



8. ábra Partner intézménytől kapott és saját adatok összehasonlítása

Ennek az eredményét a 9. ábrán ábrázoltuk:



9. ábra A saját és a referencia számítás eltéréseinek kumulatív relatív hibája

Ezután $M = [0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,34; 0,4; 0,41]$ értékekre meghatároztuk a légsavár teljesítményét, amit a 6. táblázatban tüntettünk fel. Itt az egyes munkapontokban a 4. táblázatban meghatározott ellenállás erőket kell létrehozni a légsavarral, amelyet a fordulatszám változtatásával értünk el, a beállítási szöveget pedig állandó nagyságúnak feltételeztük.

M	0,15	0,2	0,25	0,3	0,34	0,4	0,41
V [m/s]	49,27	65,69	82,11	98,54	112	131,42	134,70
n [RPM]	863,64	1151,52	1439,40	1727,28	1964,00	2310,81	2404,03
T [N]	538,34	957,05	1495,39	2153,37	2782,00	3828,11	4022,13
v [m/s]	1,48	1,97	2,46	2,96	3,36	3,92	3,94
P_{LCS} [kW]	26,51	62,83	122,72	212,06	311,58	502,65	541,33
η_k	0,855672	0,855672	0,855672	0,855672	0,855687	0,824585	0,774952
P_T [kW]	30,98	73,43	143,42	247,83	364,13	609,58	698,53

6. táblázat Légsavár teljesítmény adatok

NORMALIZÁLT HATÓTÁVOLSÁG TÉNYEZŐ (*NHT*) MEGHATÁROZÁSA

A referencia repülőgép és légszárny után számíthatóvá válik az *NHT*, amit meghatározunk külön dugattyús, turbólégszárnyos és tisztán elektromos esetre, később pedig felhasználható különböző hibrid konstrukciókkal való összehasonlításokhoz is. Az *NHT* képlete a következő:

$$NHT = \frac{m_{hm} + m_{tüz.a}}{T - F_{gondola}}, \quad (43)$$

ahol m_{hm} a hajtómű tömege, ami fix érték, $m_{tüz.a}$ a 8000 km megtételéhez szükséges üzemanyag mennyisége (vagy akkumulátor tömege) egy hajtóműre, T a légszárny által létrehozott vonóerő (jelen esetben szintén egy hajtóműre vonatkozik), amelyeket a 6. táblázatban ábrázoltunk (T), és $F_{gondola}$ pedig a hajtóműgondola ellenállásereje. $F_{gondola}$ -t és $m_{tüz.a}$ -t az alábbi összefüggésekkel számítottuk:

$$F_{gondola} = C_{Dgondola} \frac{\rho_{lev}}{2} V^2 S_{gondola}, \quad (44)$$

$$m_{tüz.a} = B_t * t_{rep}, \quad (45)$$

ahol $C_{Dgondola}$ a hajtómű gondola ellenállás-tényezője, ρ_{lev} a levegő sűrűsége, $S_{gondola}$ a gondola szárnyból kitakart felülete, B_t megmutatja, hogy a hajtómű 1 óra alatt hány kg tüzelőanyagot éget el, t_{rep} pedig a V sebességgel a 8000 km alatt eltelt időt jelöli.

$C_{Dgondola}$ meghatározása tanszéki oktatói segédlet [15] segítségével történt, miszerint szubszonikus sebesség tartományban

$$C_{Dgondola} = \frac{\left(1 - \frac{D_{belső}}{D_{külső}}\right)^2}{\lambda_{gondola}^2} \varphi_{gondola}, \quad (46)$$

ahol

- $\varphi_{gondola}$ egy függvény, amely függ a repülési Mach-számtól, $\lambda_{gondola} = \frac{l_{gondola}}{D_{külső}}$ és $\frac{D_{belső}}{D_{külső}}$ értékektől, és a segédlet 3.1.2.11 diagramja szerint határozható meg,
- $l_{gondola}$ a gondola hossza,
- $D_{külső}$, $D_{belső}$ a gondola külső és belső átmérője.

A repülési időt a

$$t_{rep} = \frac{8000}{V} \quad (47)$$

összefüggés felhasználásával számoltuk.

Dugattyús motor *NHT* értékének meghatározása

Dugattyús motorok esetén B_t üzemanyag-fogyasztást szakirodalom [17] alapján számítottuk, ami szerint

$$B_t = b_t P_T; \quad (48)$$

és b_t a motor effektív fajlagos üzemanyag-fogyasztása:

$$b_t = \frac{1}{\eta_e H_{üa}}; \quad (49)$$

ahol η_e az effektív hatásfok, értékét szintén [17] alapján válasszuk meg 0,3-nek, $H_{üa}$ pedig az üzemanyag alsó fűtőértéke. Repülőgépekben alkalmazott dugattyús motorok esetében általában a 100LL magas oktánszámú tüzelőanyagot alkalmazzák, ami $H_{üa} = 43,5$ MJ/kg fűtőértékel rendelkezik [18].

A P_T teljesítményeket a 6. táblázatban már meghatároztuk, több dugattyús motor típus adatainak vizsgálata után [5] [6] [7] a Lycoming IO-720-D1B [5] választottuk ki, amelynek tömege $m_{hm} = 279,41$ kg, így ezt használjuk fel a számításhoz. Ennek alapján a 7. táblázatban feltüntetett NHT értékeket kaptuk dugattyús motorra:

M	0,15	0,2	0,25	0,3	0,34	0,4	0,41
t_{rep} [h]	45,10	33,83	27,06	22,55	19,84	16,91	15,03
B_t [kg/h]	7,54	17,87	34,91	60,32	88,63	148,38	170,03
$m_{üz.a}$ [kg]	340,11	604,64	944,75	1360,44	1758,58	2508,98	2804,98
$F_{gondola}$ [N]	119,58	212,59	332,16	478,32	13,29	53,15	119,58
NHT	1,48	1,19	1,05	0,98	0,94	0,94	0,99

7. táblázat NHT értékek dugattyús motorra

Turbólégcsavaros hajtómű NHT értékének meghatározása

Az NHT kiszámítása turbólégcsavaros hajtómű esetére is hasonló módon történik, mint dugattyús motornál. T és $F_{gondola}$ értékei változatlanok maradnak (ugyanazt a légcsavart és hajtómű gondolat alkalmazzuk), a különbség a fogyasztásban és a hajtómű tömegében fog megmutatkozni. Több turbólégcsavaros hajtómű adatainak vizsgálata után ([8] [9] [10] [19]) a Pratt&Whitney PT6A-6 adatait [19] használtuk fel, így $m_{hm} = 122,47$ kg tömeggel számolunk. A fogyasztás számítása a következő képletek felhasználásával történik tanszéki jegyzet [20] alapján:

$$\eta_{\circ} = \eta_{tüz} \eta_t \eta_{mech} \eta_k = \frac{\dot{Q}_{be} P_{h,körf}}{Q_{égés} \dot{Q}_{be}} \frac{P_T}{P_{h,körf}} \frac{P_{LCS}}{P_T} \quad (50)$$

$$\dot{Q}_{égés} = \dot{B}_t H_{üa} = P_T \eta_{\circ} \quad (51)$$

A hatásfokoknak a következő adatokat vettük fel:

- $\eta_{tüz} = 0,93$;
- $\eta_t = 0,33$;
- $\eta_{mech} = 0,97$.

Így (50) és (51) egyenletekkel már meghatározható a fogyasztás, interneten megtalálható forrás szerint [21] a Jet-A1 üzemanyag fűtőértéke pedig $H_{üa} = 42,8$ MJ/kg. Mindezek után a kapott NHT értékeket a 8. táblázatban tüntettük fel.

M	0,15	0,2	0,25	0,3	0,34	0,4	0,41
t_{rep} [h]	45,10	33,83	27,06	22,55	19,84	16,91	15,03
B_t [kg/h]	8,75	20,75	40,52	70,02	102,88	172,24	197,37
$m_{üz.a}$ [kg]	394,80	701,86	1096,66	1579,20	2041,35	2912,41	3256,01
$F_{gondola}$ [N]	119,58	212,59	332,16	478,32	13,29	53,15	119,58
NHT	1,24	1,11	1,05	1,02	1,00	1,02	1,08

8. táblázat NHT értékek turbólégcsavaros hajtóműre

Villanymotoros meghajtás *NHT* értékének meghatározása

Az *NHT* meghatározása tisztán elektromos hajtásra annyiban különbözik a korábbi esetektől, hogy az energiaforrás egy akkumulátor, aminek a tömege állandó, tehát az energia használatával nem fog csökkenni a tömege. Jelenleg ezek az egységek nagy tömegekkel rendelkeznek az alacsony energiasűrűségük miatt, ezért az *NHT* értékek ebben az esetben sokkal magasabbak lesznek, mint dugattyús motorok vagy turbólégcsavaros hajtóművek alkalmazása esetén.

Az 1. táblázatban található $\rho_{energia}$ értékeknél napjainkban korszerűbbeket is lehet találni, mint az ott bemutatott 0,2 kWh/kg; a mai Lítium-ion akkumulátorok energiasűrűsége akár már a 0,243 kWh/kg értéket is elérheti [22], így ezt választjuk $\rho_{energia}$ értékének.

NHT számítása itt annyiban fog különbözni, hogy itt nem a 8000 km távolságra elég tüzelőanyag tömegével számolunk, hanem az ekkora táv megtételéhez szükséges akkora tömegű akkumulátorral, amely képes a szükséges villamos energiát fedezni egy motor esetén. Így (43) képlet a következőképpen módosul:

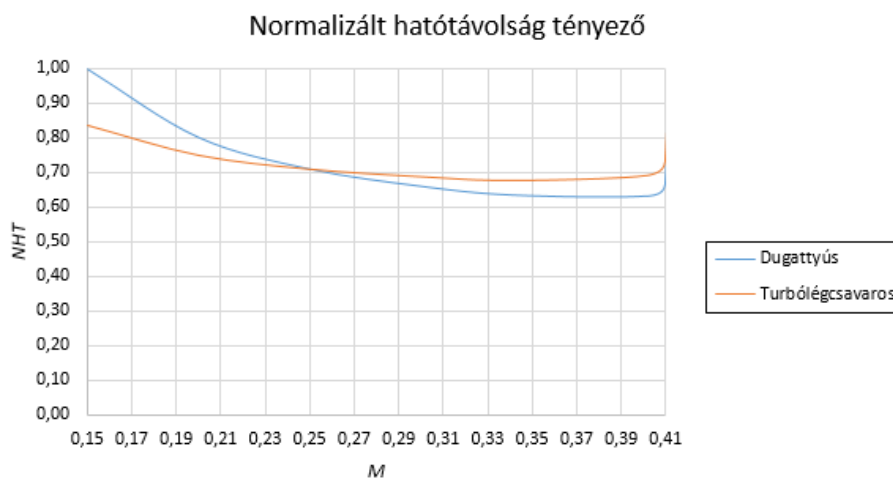
$$NHT = \frac{m_{hm} + m_{akku}}{T - F_{gondola}} \quad (52)$$

Több villanymotor adatainak vizsgálata után ezek tömege átlagosan 40 kg, így legyen $m_{hm} = 40$ kg, a T és $F_{gondola}$ értékek már korábban kiszámításra kerültek, m_{akku} értéke pedig az (1) (2) (3) képletek felhasználásával került kiszámításra. Így az elektromos motorral számított *NHT* értékek a 9. táblázatban vannak összefoglalva:

M	0,15	0,2	0,25	0,3	0,34	0,4	0,41
t_{rep} [h]	45,10	33,83	27,06	22,55	19,84	16,91	15,03
E_{akku} [kWh]	1397,28	2484,06	3881,34	5589,16	7224,83	10307,73	11523,78
m_{akku} [kg]	5750,13	10222,45	15972,58	23000,66	29731,82	42418,64	47422,97
$F_{gondola}$ [N]	119,58	212,59	332,16	478,32	13,29	53,15	119,58
<i>NHT</i>	13,83	13,79	13,77	13,76	13,76	14,26	15,17

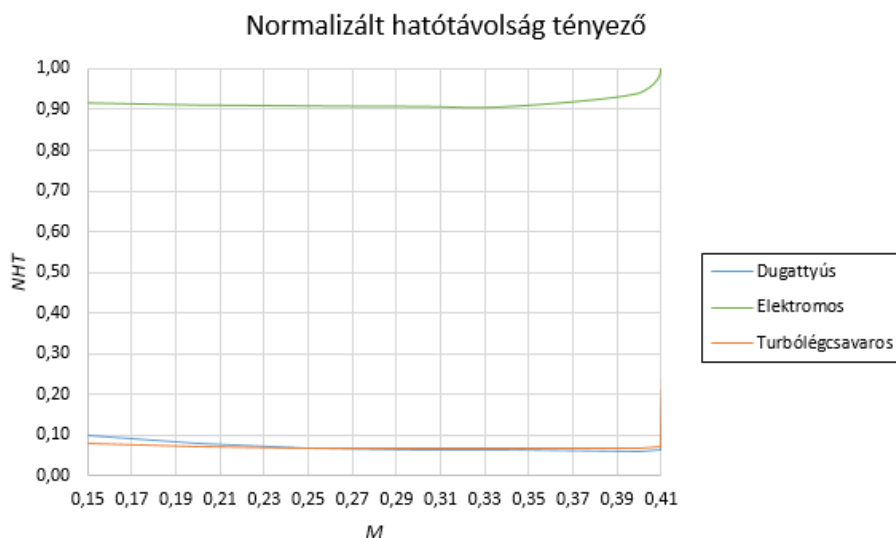
9. táblázat *NHT* értékek villanymotorra

Először *NHT* értékét dugattyús és turbólégcsavaros hajtóművek esetén ábrázoltuk a 10. ábrán, ahol az értékeket a dugattyús motoroknál számított legnagyobb értékre, tehát $NHT = 1,48$ -ra normalizáltuk.



10. ábra *NHT* értéke a Mach szám függvényében dugattyús motor és turbólégcsavaros hajtómű esetén, dugattyús motor legnagyobb értékére normalizálva

Ezután a 11. ábrán mind a dugattyús, turbólégcsavaros és villanymotoros esetet ábrázoltuk, ahol az értékeket a villanymotorok esetén számított legnagyobb értékre, tehát $NHT = 15,17$ -re normalizáltuk.



11. ábra NHT értéke a repülési Mach szám függvényében dugattyús, turbólégcsavaros és villamos esetekre, a villanymotoros hajtás legnagyobb értékére normalizálva

KONKLÚZIÓ

A jelen dolgozat keretében egy olyan módszer kidolgozására került sor, amely alkalmas dugattyús motorral, gázturbinával, illetve villanymotorral történő légcsavar-hajtás teljesítmény adatainak meghatározására, különös tekintettel a NHT -re.

Ahogy már A hibrid rendszer célja, leírása című fejezetben is megállapítottuk, úgy a 11. ábrán is jól látható, hogy tisztán elektromos esetre sokkal magasabb értékeket kapunk az NHT -re, mint a dugattyús és turbólégcsavaros esetekre, így ennek a konstrukciónak a megvalósítása a tudomány jelenlegi álláspontja szerint kevésbé lenne gazdaságos az akkumulátorok kis energiasűrűsége, ennek következtében pedig a nagy tömege miatt. Ráadásul itt is igaz a korábbi megállapítás, hogy a megnövekedett tömeg miatt még nagyobb teljesítményű villanymotorokra lenne szükségünk.

A módszer – a megfelelő átalakításokat követően – felhasználható a különböző hibrid megoldások vizsgálatára abból a célból, hogy eldönthető legyen azok hatékonysága.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <https://www.airspacemag.com/flight-today/the-electric-airplane-34986164/>
- [2] Kozár András Farkas: Nagy hatótávolságú elektromos és hibrid-elektromos VTOL multirotor UAV megvalósíthatósági vizsgálata, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, VRHT-A-R-2016-9 sorszámu szakdolgozat
- [3] G. Sachs: Flight Performance Issues of Electric Aircraft, AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference, DOI: 10.2514/6.2012-4727
- [4] Milton Marwa, Scott M. Martin, Borja C. Martos, and Richard P. Anderson: Analytic and Numeric Forms for the Performance of Propeller-Powered Electric and Hybrid Aircraft, AIAA SciTech Forum, DOI: 10.2514/6.2017-0211
- [5] Lycoming IO-720 adatok, <https://www.lycoming.com/sites/default/files/IO-720%20Operator%20Manual%2060297-19.pdf>

- [6] Lycoming O-360 adatok, <http://saaa.naqtechnology.com.au/Portals/0/PDFs/Mem-Building/Power%20Setting%20Table%200360%20CS.pdf>
- [7] Lycoming IO-540 adatok, <https://www.lycoming.com/sites/default/files/O%20%26%20IO-540%20Oper%20Manual%2060297-10.pdf>
- [8] Rolls-Royce RR500 adatok, https://en.wikipedia.org/wiki/Rolls-Royce_RR500
- [9] PBS TP100 adatok, <http://www.pbsaerospace.com/our-products/tp-100-turboprop-engine>
- [10] Allison Model 250 adatok, https://en.wikipedia.org/wiki/Allison_Model_250
- [11] Hibrid jármű, https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_vehicle
- [12] Emrax 268 villanymotor karakterisztika, http://emrax.com/wpcontent/uploads/2017/01/emrax_268_technical_data_4.5.pdf
- [13] Az Esposa projekt, http://cordis.europa.eu/project/rcn/100644_en.html
- [14] NACA 4412 profil, <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca4412-il>
- [15] Preliminary Aerodynamical Calculation of Aircraft, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, tanszéki oktatási segédlet, http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Oktatok_anyagai/Jankovics_Istvan_anyagai/Aerodinamika/hazifeladat_segedlet.pdf
- [16] Gausz Tamás: Légcsavarok, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, tanszéki oktatási segédlet, http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Oktatok_anyagai/Dr.Gati_Balazs_anyagai/dr.Gausz_Tamas_jegyzetek/LEGCSAVAROK.pdf, Budapest 2015.
- [17] Dr. Dezsényi György, Dr. Emőd István, Dr. Finichiu Líviu: Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata, Tankönyvkiadó, Budapest, 1992., ISBN 963 18 4566 4
- [18] 100LL Avgas, <http://www.warteraviation.com/avgas-100ll/?lang=en>
- [19] Pratt&Whitney PT6A-6 hajtómű adatok, https://en.wikipedia.org/wiki/Pratt_%26_Whitney_Canada_PT6
- [20] Dr.Veress Árpád: Repülőgép hajtóművek elmélete 1., Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, tanszéki oktatási segédlet, http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Oktatok_anyagai/Dr.Veress_Arpad_anyagai/Oktatott_targyak/Repulogep_hajtomuvek_elm_I_BSc/Rep-Hajt-Elm-1-BSc_v44.pdf, Budapest 2017.
- [21] Jet-A1: https://en.wikipedia.org/wiki/Jet_fuel
- [22] Panasonic NCR 18650 akkumulátor adatok, <https://na.industrial.panasonic.com/sites/default/pidsa/files/ncr18650b.pdf>

MODELL DEVELOPMENT OF PROPULSION SYSTEM COMPONENTS FOR SMALL HYBRID AIRCRAFT

Although, the modern internal combustion engines used today in vehicles reduced fuel consumption and pollutant emissions significantly, the amount of consumed energy is still high, which has harmful effect in our life. The modern electric motors with higher efficiency may have solution on these problems, which were proven by the pioneering developments; they can be applied successfully in personal vehicle industry as part of a hybrid system or by themselves in case of the electric energy is generated by environmental friendly ways. Following the application of these engines in cars an idea emerges, can they be applied in aircraft as well? We are looking for the answer for this question in this research study by creating the framework of the propulsion systems, which could be used to investigate the feasibility of hybrid aircraft propulsion systems in the next step of the present work.

Keywords: propeller, small aircraft, normalized range factor, hybrid, electric

Molnár István Tamás BSc hallgató Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék mtomi008@icloud.com orcid.org/0000-0002-2373-7051	Molnár, István Tamás BSc student Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transporting Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautical, Naval Architecture and Railway Vehicles mtomi008@icloud.com orcid.org/0000-0002-2373-7051
Dr. Ailer Piroska főiskolai tanár Neumann János Egyetem GAMF Műszaki és Informatikai Kar Járműtechnológia Tanszék ailer.piroska@uni-neumann.hu orcid.org/0000-0002-5936-8841	Dr. Ailer, Piroska Professor John von Neumann University GAMF Faculty of Engineering and Computer Science Department of Vehicle Technology ailer.piroska@uni-neumann.hu orcid.org/0000-0002-5936-8841
Dr. Veress Árpád egyetemi docens Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék averess@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-1983-2494	Dr. Veress, Árpád Associate Professor Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transporting Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautical, Naval Architecture and Railway Vehicles averess@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-1983-2494

A bemutatott számítási módszer kidolgozását az EFOP-3.6.1-16-2016-00014 számú és a „Diszruptív technológiák kutatás-fejlesztése az e-mobility területén és integrálásuk a mérnökképzésbe” című nemzeti kutatási projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-23-0418_Molnar_Istvan_Tamas_et_al.pdf

Agnes Wangai, Sergey Kinzhikeyev, Jozsef Rohacs, Daniel Rohacs

COMPARISON OF TOTAL LIFECYCLE EMISSION OF AIRCRAFT WITH DIFFERENT PROPULSION SYSTEM

This paper briefly introduces a new methodology developed for total impact evaluation of the vehicles and transportation systems, compares the application of this study in conventional, hybrid and fully electric aircraft type of propulsion systems. The most important novelties of the applying methodology are as follows: (i) all the impact (environmental impact, safety and security, cost, cost benefits and sustainability are analysed), (ii) the impacts are evaluated on the vehicle and might be evaluated on the transportation system levels, and (iii) generating the total impact index. This paper discusses only the differences in determining the total impact caused by using the different propulsion concepts.

Keywords: total impact; aircraft conventional, hybrid, electric propulsion systems; e-mobility

INTRODUCTION

The Flightpath 2050 [1] completed by High Level Group on Aviation Research for European Commission has created the Europe's vision on future air transport. The overall, highly ambitious goal is defined as "Aviation serves the citizen, brings people together and delivers goods through seamless, safe and secure, cost effective transport chains, adding value through speed, reliability and resilience in a global network, over any distance, without negative effects on the environment."

The last words "without negative effects on the environment" generates a very serious and hard condition. Even the authors of the Flightpath 2050 [1] had defined the sub-goals of the objectives „Protecting the environment and the energy supply” as

- In 2050 technologies and procedures available allow a 75% reduction in CO₂ emissions per passenger kilometre to support the ATAG (Air Transport Action Group) target and a 90% reduction in NO_x emissions.
- The perceived noise emission of flying aircraft is reduced by 65%. These are relative to the capabilities of typical new aircraft in 2000.
- Aircraft movements are emission-free when taxiing.
- Air vehicles are designed and manufactured to be recyclable.
- Europe is established as a centre of excellence on sustainable alternative fuels, including those for aviation, based on a strong European energy policy.
- Europe is at the forefront of atmospheric research and takes the lead in the formulation of a prioritised environmental action plan and establishment of global environmental standards.

For achieving of this sub-goal alternative and sustainable energy must be used. The first steps in development of such new greener air transport are based on improving the technologies using the biofuel and developing the hybrid and electric propulsion systems (Fig.1.). The aircraft alternative configuration, using the hydrogen, hydrogen fuel cells and high speed propulsion

systems as scramjets, magneto - hydro - dynamic scramjets need considerable greater time for further studies.

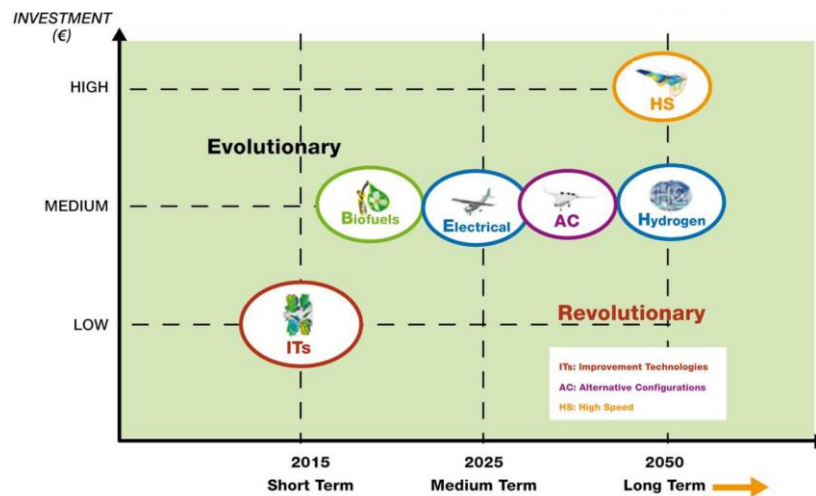


Figure 1. Technologies versus Investment/Time

The Figure 2. shows that, the electric propulsion systems might be applied to the small and medium size aircraft, only

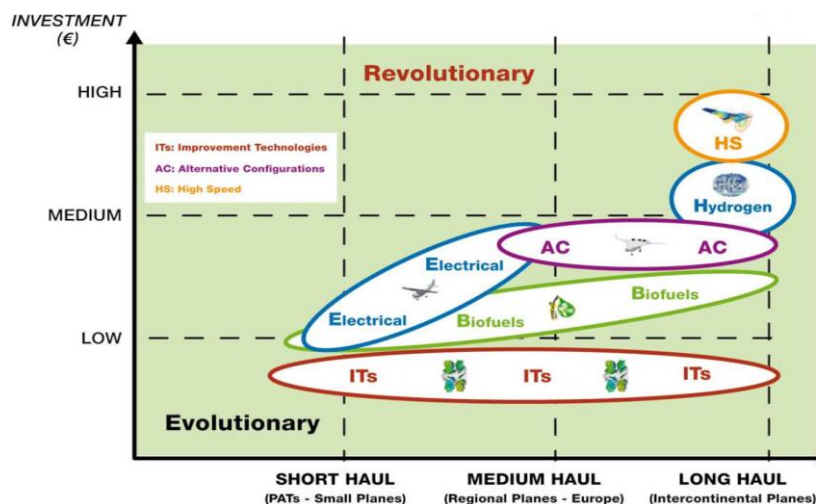


Figure 2. Technologies versus Investment/Aircraft Type

Several Hungarian projects are already dealing with developing the hybrid and electric propulsion systems, aircraft with such systems. One of them, is the EFOP-3.6.1-16-2016-00014 project supporting the contribution of this paper, too (see acknowledgment at the end of paper).

This paper deals with the possible comparison of the aircraft with conventional (piston engine), hybrid and fully electric propulsion systems based on total impact. After some preliminary considerations, the paper briefly introduces a new methodology developed for total impact evaluation of the vehicles and transportation systems and its application to comparison studies. The most important novelties of the applying methodology are as follows: (i) all the impact (environmental impact, safety and security, cost, cost benefits and sustainability are analysed), (ii) the impacts are evaluated on the vehicle and might be evaluated on the transportation system levels, and (iii) generating the total impact index. This paper discusses only the differences in

determining the total impact caused by using the different propulsion concepts with reference to the 4 seater aircraft.

PRELIMINARY CONSIDERATIONS

A lot of people think that, using the aircraft means wasting the energy and giving a biff to environment protection. In reality, the aviation has the best results in efficiency improvements of environmental impact reduction (Fig. 3.).

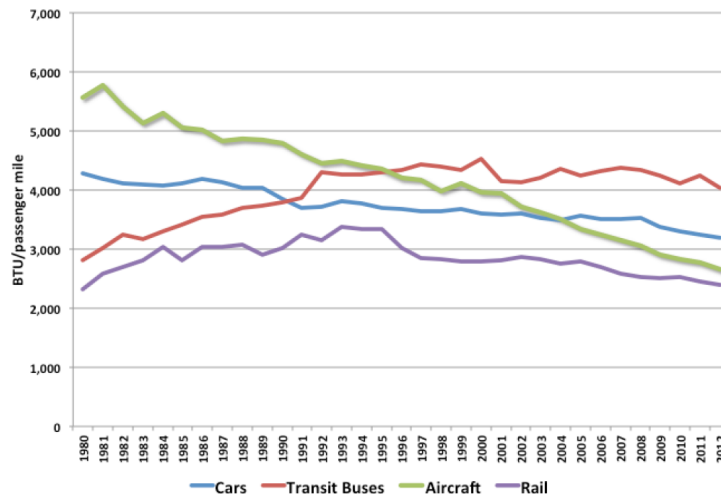


Figure 3. Vehicle Fuel efficiency based on US data [3, 4]
(BTU - British Thermal Unit equals approximately to 1.057 KJ)

The CO₂ emission from aviation piston engines far from the theoretic 3.17 kg/l because the very incomplete combustion and it can be approximated as 2 kg/l, only [5].

The Figure 4. shows that, in Europe, about half of electrical energy is generated by use of combustible fuels [5]. According to the WNA – World Nuclear Association report [6] the lifecycle greenhouse gas (GHG) emissions in case of using the combustible fuel equal to from 400 up to 1300 tons of CO₂e / GWh depending on the type of fuel (natural gas, oil, coal) and applied technologies. These emissions about 20–50 times greater than the GHG emissions in cases of generating the electricity from nuclear, hydro or wind energy. Therefore in Europe, the GHG emission of electric energy generation about 450 tons CO₂e / GWh. It means, the European energy generation emits 0.45 kg CO₂e/kWh.

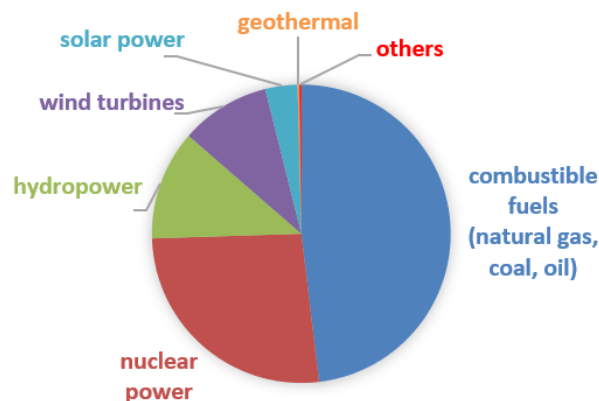


Figure 4. Net electricity generation in EU28 [5]

Let start with a very simple calculations. The typical aviation fuel applied to piston engine is the AVGAS 100, the heating value of which equals to 43.5 MJ. It is equivalent to 12.08 kWh. The aircraft piston engine has energy efficiency coefficient about 30% [7] and the propeller system efficiency is around 85% [8]. So energy total energy efficiency of aircraft piston engine propeller system is 25.65%. At the same time, the energy efficiency of electric power system nearly 100%, but taking into account the losses in energy supply chain the total energy efficiency might be defined as 95%. So, burning the 1 litre aviation fuel equals to using the $0.2565 \times 12.083 / 0.95 = 3.26$ kWh. (or burning 1 kg fuel equals to 3.26 kWh.) That means, the GHG, namely CO₂e emission of aircraft with piston engine and with electric propulsion system equal to 2 [9] and 1,467 kg for 1 litre fuel equivalent, respectively.

Another interesting effect caused by use of accumulator banks having considerable weights comparing to the vehicle dry weight. The battery banks performance are increasing very rapidly. Why in 2009 the energy density was about 120 Wh/kg [10], by 2015 it had reached 260 Wh/kg [11]. The existing cars still use the battery of about 180 – 200 Wh/h energy density. At the same time, the electric cars are completed by battery of 80 – 100 kWh instead of 24–36 kWh used in early electric cars. This energy is enough already for 600 – 700 km driving.

The vehicle weight breakdown shows that; the engine weight reduces by 60–75 % when replaced by electro motors. However, the mass of battery banks increases the aircraft weight with 100 – 400 % depending on the accepted considerable reduction in range.

For example, in case of replacing the piston engine with electric motor in a moderate size 4 seater aircraft analogic to the Cessna 172N the mass breakdown may change as shown in Figure 5.

As it can be seen, the take-off mass increases by 70%, that increases the airframe mass to nearly 40%. The initial empty mass increases from 510 kg up to 1360 kg because the battery bank has about 800 kg, while the electric motor has about 120 kg – less mass. If it still seems acceptable, the aircraft performance must be checked, too. The initial piston engine has 120 kW power and the aircraft may use more than 200 litres of fuel flying a distance of 1290 km. If replaced with 800 kg battery mass which under normal conditions stores only 200 kWh energy, this allows aircraft to fly for 360 km distance only, at the same cruise speed.

This preliminary calculations demonstrate, the technology does not allow to make acceptable and affordable electric aircraft. Therefore, the hybrid aircraft development should be in focus.

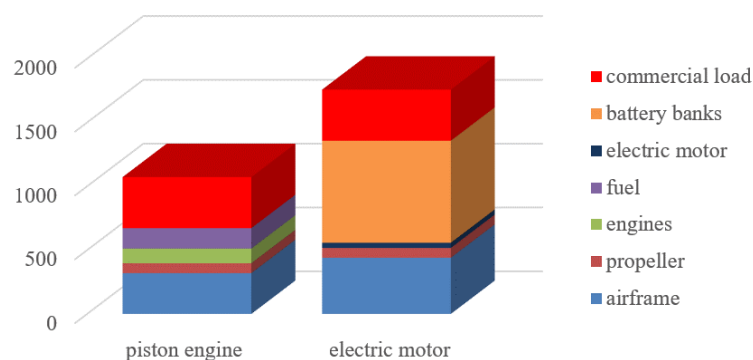


Figure 5. Take-off mass breakdown of the aircraft with conventional and with full electric propulsion system. (The performances of the aircraft are the same except the range, that is 82% less in case of full electric aircraft comparing to the conventional one).

METHODOLOGY – TOTAL IMPACT PERFORMANCE INDEX

The Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles at the Budapest University of Technology and Economics has a long term research program developing methodologies for determining the environmental impacts and their application [12][13][14][15][16].

The Research program has resulted to developing a special total performance index and methodology for its calculations. The simplified and unique index evaluating the total impact is given in form of total cost induced by all life cycle effects of transportation system in form of related to unit of transport work (pkm or tkm):

$$TPI = \frac{TLCC}{TLCW} = \frac{TOLCC}{TLCW} + \frac{TILCC}{TLCW} = TOPI + TIPI, \quad (1)$$

where TPI is the total performance index, TOPI is the total operation performance index, TIPI total impact performance index, TLCC/TOLCC/TILCC are the total / total operational / total impact LCC (life cycle cost) and the TLCW is the total life cycle work.

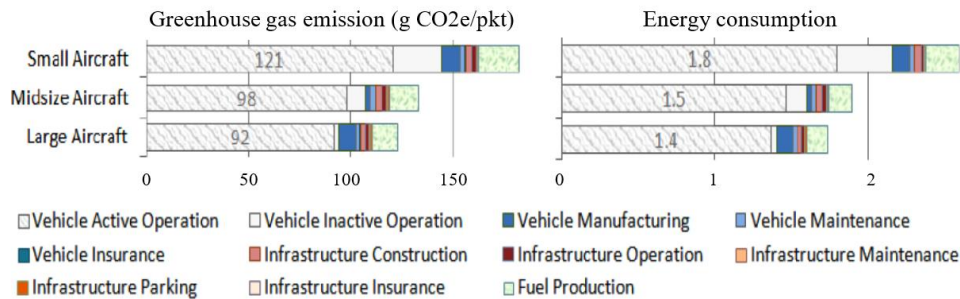


Figure 6. Total and total CO₂e emission and total energy consumption calculated for air transport [17]

The *TOPI* defining the operational cost of the given vehicle, given transportation mode is well known and applied by owners, operators, service providers. They use it in selecting the aircraft, evaluation of the mixed fleets determining the optimized transportation chain. While, principally, the *TIPI* deals with the externality. This is the index that might be used in impact assessment.

The *TIPI* summarizes all the impacts:

$$TIPI = \sum_{i=1}^n TIPI_i = \frac{\sum_{i=1}^n TILCC_i}{TLCW}$$

where $i = 1, 2, \dots, n$ define the different groups of impacts. According to the transportations systems, $i =$ safety and security; environmental impacts; system peculiarities; system support; use of resources.

The *TIPI* for group of impacts can be determined as sum of the different effects:

$$TIPI_i = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l \sum_{q=1}^r N_{j,k,q} p_{j,k,q} I_{j,k,q} \sum_{v=1}^u o_{j,k,q,v} c_{j,k,q,v}}{TLCW_i} \quad \forall i, \quad (3)$$

$$TLCW_i = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l \sum_{q=1}^r N_{j,k,q} W_{j,k,q}$$

where $j = 1, 2, \dots, m$ depicts the subgroups of impacts, while $k = 1, 2, \dots, l$ defines the transport means, $q = 1, 2, \dots, r$ represents the types or groups of the given transport system, $v = 1, 2, \dots,$

u identifies the different forms of consequences, N is the number of sub-sub-group elements contributors to the impact, like number of vehicles defined by q , p is the parameter of the given types or group of system elements causes the investigated effects, I is the impact indicator of the given system element, o the outcomes / consequences of impact defined by I or caused by the events, situations associated with the I indicator, c is the conversation coefficient for calculating the (external) cost and W is the work done during the investigated period defined by p . it means, if the p is the parameter of function given in form of average annual unit, then the W should related to the year, too. For example, if the N defines the number of vehicle and p is the annual average running of the vehicles, then the W equals to p .

The p parameter acts as weighting coefficient, or weighting function, too. Of course it depends on goals and level of studies and on the vehicle or system characteristics, parameters defined by the applied indicators. The consequences, o , namely function of consequences take into account the outcomes form the impact characterized by the performance indicator. The consequences might be divided into more forms harmonized with the applied impact indicators. For example, the simple accident may cause damages in (i) vehicle, (ii) transport infrastructure, (iii) buildings, (iv) cultural values, etc. and the human casualty might be classified, too, as fatality, severe and slight injury. The consequences are defined as function of outcomes, because they depend on level of economy and may change during the life cycle frame.

With taking into account the functions of parameters, impact indicators, consequences and conversation coefficients, the formula (3) can be rewritten in several other forms:

$$TIPI_i = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l \sum_{q=1}^r N_{j,k,q} f_{p_{j,k,q}}(p_{j,k,q}) f_{I_{j,k,q}}(I_{j,k,q}) \sum_{v=1}^u f_{o_{j,k,q,v}}(o_{j,k,q,v}) f_{c_{j,k,q,v}}(c_{j,k,q,v})}{TLCW_i} \quad \forall i, \quad (4.a)$$

$$TIPI_i = = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l \sum_{q=1}^r N_{j,k,q} f_{p_{j,k,q}}(p_{j,k,q}) \sum_{v=1}^u f_{I_{j,k,q,v}}(I_{j,k,q,v}) f_{o_{j,k,q,v}}(o_{j,k,q,v}) f_{c_{j,k,q,v}}(c_{j,k,q,v})}{TLCW_i} \quad \forall i \quad (4.b)$$

These methods developed for TIPI calculations can be applied to vehicle, equivalent vehicle, fleet, or to the transportation company, transport means, transport sector, etc. Therefore, this methodology developed for calculation of the introduced total impact performance index is structured in hierarchic form and realized in a simplified excel table.

Applying the tool, it must be adapted to the real calculation by (i) definition the goals, (ii) size and (iii) level of investigation, as well as (iv) possible sources of data, (v) economic and (vi) societal conditions.

Principally all the required information might be defined, derived from the existing statistical data, references, research reports [17][18][19][20][21][22][23][24][25]. However, the data very sensitive to the real situations including the economy, culture, etc. of the region or country investigated. Therefore, this paper introduces the developing excel table for TIPI calculation and demonstrates it applicability on example e-vehicles. The describing methodology is based on formulas (4).

The developed excel table contains the following columns:

- ➔ number of rows,
- ➔ region or area of investigation (like Europe, or Hungary, or it might be a large or even small company, etc.)

- code number – completed from the indexes,
- group of impact (GI) (depicted by index “i”),
- sub-group of impact (SGI) (identified by index “j”),
- transport means (TM) (indexed by “k”, $k = 1, 2, \dots$; namely road, railway, water, and air transport that might be divided into more subgroups, because the road transport contains the city or urban transport highway transport, rural transport, or cars, busses, light and have vehicles, etc., here road transport conventional hybrid and electric passenger cars),
- number of studied elements or merit, i.e. value of the chosen governing parameter,
- applied general parameter describing the aspects or impact calculated,
 - applied parameters, their appellations and values (for each parameter that defines – here – the general average running distance pro year),
 - formula (using for determining the general parameter by use of defined, applied parameters) and calculated values,
- general impact indicator
 - applied indicators, their appellations and values (that defines the general impact),
 - formula (using for determining the general impact indicator) and its calculated value,
- outcomes (determined by use of same methods as it applied to general parameter and general impact indicator calculations),
- cost coefficient (determined by use of same methods as it applied to general parameter and general impact indicator calculations),
- work (two columns: dimension and value),
- results (summarized in 5 columns: $TIP_{i,j,k,q}$, $TIP_{i,j,k}$, $TIP_{i,j}$, TIP_i , and TIP),
- the developing excel table can be used if the parameters, impact indicators, outcomes, etc. will be defined and calculated.

RESEARCH OF COMPARISON STUDIES

There are two major difference in calculation of the total impact performance index of the aircraft with conventional (piston engine), hybrid and electric propulsion systems, namely impact of used electrical energy instead of the impact of fuel that is used for electrical energy generation and impact induced by total using (production, operation, recycling) the electric accumulators. These impacts are considerable depending on mix in electric generation [6]. According to the available information [26][27][28] as average 586 MJ energy required for producing the each KWh accumulator capacity. By using this and data on CO_{2e} emission of electric energy generation, the Figure 7. shows large differences in emission of accumulator production depending on the regions.

Comparing to the production, during recycling of the batteries, the CO_{2e} emissions are only 1–2 kg /kWh depending on the applied technologies.

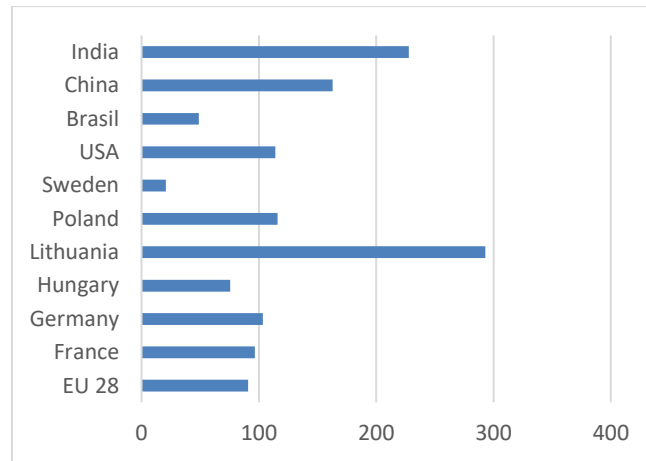


Figure 7. Battery production emission (CO₂e - kg/kWh)

In the further investigation the European average mix in electrical energy generation is used. Nowadays, the greenhouse gas emission might be accounted as one of the most important emission factor, therefore, it is used for comparison of the aircraft with different propulsion system.

For this study, five different 4 – seater aircraft were selected. The first one is the conventional small aircraft with piston engine. Two aircrafts equipped with hybrid propulsion systems, the electric sub-systems allow to fly for 15 and 45 minutes in full electric modes. And two are fully electric aircraft having accumulator banks of 200 and 400 kWh.

The Table 1. contains the mass breakdown of the investigated aircraft that had been determined from the initial aircraft analogical to the well-known Cessna 172N. The hybrid aircraft have the same flight performance as the initial aircraft. Because the battery their take-off weights increased by 13.5 and 28.5%. The battery masses were calculated from power density equals to 250 Wh/kg. The masses of sub-systems were determined from the weight balance of the developed aircraft. For example the airframe mass is increasing with increasing the mass of power plants. The fully electric aircraft cannot have flight performance analogic to the initial aircraft. The Aircraft take-off masses were increased by 61.5 and 142.5% in case of using 200 and 400 kWh capacities and the range were reduced for 72.3 and 60% respectively.

aircraft type / sub systems	conventional	hybrid 15	hybrid 45	electric 200	electric 400
airframe	320	345	380	440	510
propeller	77	77	80	87	98
engines	115	105	90	0	0
fuel	184	176	156	0	0
electric motor	0	40	42	44	50
battery banks	0	100	260	800	1600
commercial load	400	400	400	400	400
take-off mass	1096	1243	1408	1771	2658
performance					
wing loading (kg/m ²)	68,6	70	72	76	92
engine power (kW)	120	110	95	0	0
energy (kWh)	0	25	65	200	400
cruise speed (km/h)	226	226	226	200	200
range (km)	1300	1300	1300	360	520

Table 1. Mass breakdown of the investigated aircraft (kg)

So, as it can be seen, the fully electric aircraft cannot be realized yet, till the minimum power density about four times greater is achieved. Even in such case the range will be considerable reduced.

The total life cycle CO₂e emission of the investigated aircraft are shown in Figure 8.

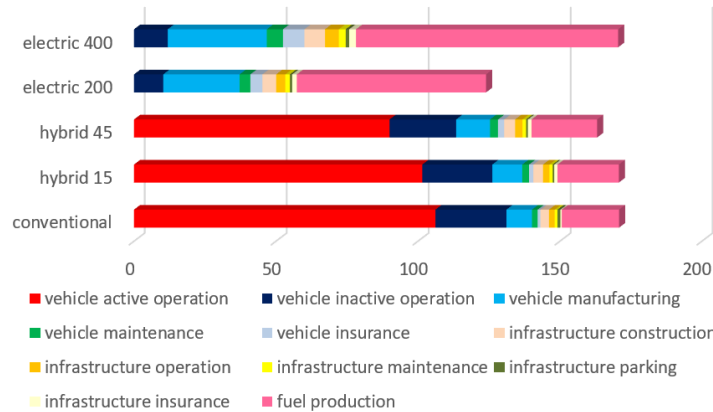


Figure 8. The greenhouse emissions of the investigated aircraft (g/pkm)

The figure 8. shows that the greenhouse emission is considerably reduced in case of radically cutting the range (electric aircraft 200). The hybrid aircraft have small reduction in greenhouse emissions, but it may really reduce the environmental impact levels in airport regions.

CONCLUSIONS

Nowadays, the environmental impact reduction and development of the small / personal aircraft transportation systems are in focus of the future aviation development. The objective of this paper was the comparison analysis of the aircraft with conventional (piston engine), hybrid and fully electric small aircraft. After some preliminary considerations on target propulsion systems of the future aircraft developments and electric generation mix, a special total life cycle impact calculation method was introduced developed at the Department of the Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles at the Budapest University of Technology and Economics. The developed methodology has a several important novelties as (i) all the impact (environmental impact, safety and security, cost, cost benefits and sustainability) are analysed, (ii) the impacts are evaluated on the vehicle and maybe evaluated on the transportation system levels, and (iii) generating the total impact index.

The briefly described methodology was applied to 5 different small aircraft: a conventional aircraft, two hybrid propulsion type aircraft and two fully electric type of propulsion aircrafts. The aircrafts were preliminary designed with analogical flight performance of the initial conventional aircraft. The impact comparison was based on the total life cycle greenhouse emission determined for 1 pkm.

The following conclusions have been derived from the analysis: (i) full electric aircraft might be developed with radical decreasing in range of aircraft, while (ii) the hybrid aircraft may have smaller environmental impact generally, and (iii) their most important advance is the radical cutting of the environmental impacts (emission) in airport regions.

The total impact analysis requires some further investigations.

REFERENCES

- [1] Flightpath 2050, Europe's Vision for Aviation, Maintaining Global Leadership and Serving Society's Needs, Report of the High Level Group on Aviation Research, European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Directorate-General for Mobility and Transport, 2011, p. 28.
- [2] From air transport system 2050 vision to planning for research and innovation, EREA - Association of European Research Establishments in Aeronautics, 2012, p. 46
- [3] Aviation emissions, impact and mitigation: a primer, FAA, Office of Environment and Energy, 2015, p. 42.
- [4] Transportation Energy Data Book, Edition 33, July 31, 2014, http://cta.ornl.gov/data/tedb33/Edition33_Chapter02.pdf,
- [5] Electricity production, consumption and market overview, EUROSTAT, Statistics Explained, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_production,_consumption_and_market_overview
- [6] Comparison of lifecycle greenhouse gas emissions of various electricity generation sources, WNA - World Nuclear Association Report, 2011, p. 12. http://www.world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/comparison_of_lifecycle.pdf
- [7] Epstein, A. H. Aeropropulsion for commercial aviation in the twenty-first century and research directions needed, AIAA Journal 52(5), 2014, pp. 901-911, doi:10.2514/1.J052713
- [8] McCormick, B. W. Aerodynamics, aeronautics and flight mechanics. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons., Inc; 1995. 652 p.
- [9] FOCA Data Base for aircraft piston engine emission factors, Appendix 2: In-flight measurements, Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications DETEC, Federal Office of Civil Aviation FOCA, Aviation Policy and Strategy Environmental Affairs, Swiss Confederation, Bern, ref. No. 33-05-003, 2006, p. 77.
- [10] Lowe, M., Tokuoka, S., Trigg, T., Gereffi, G. Lithium-ion batteries for electric vehicles. The U.S. value chain, Center on Globalization Governance and Competitiveness, 2010, p. 76.
- [11] Crabtree, G., Kics, e., Trahey, L. The energy-storage frontier: Lithium-ion batteries and beyond, MRS Bulletin, Vol. 40, issue, 12, 2015, pp. 1067 - 1076
- [12] Rohács J. Emission scattering simulation for airport region, ICAS 2002, 23rd International Congress of Aeronautical Sciences, Toronto, 8 to 12 September, 2002, ICAS 2002.7.11.2. pp. 6. http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2002/PAPERS/7112.PDF
- [13] Rohács, J., Simongáti, Gy. The role of inland waterway navigation in a sustainable transport system, „Transport Research” Journal of Vilnius Geodiminas Technical University and Lithuanian Academy of Sciences, Vol. XXII. No. 3, 2007, pp 148 – 153. printed version, ISSN1648-4142,
- [14] Rigo. N., Hekkenberg, R., Ndiaye, A. B., Hargitai, L. Cs., Hadházi, D., Simongáti, Gy. Performance assessment of intermodal chains, European Journal of Transport and Infrastructure Research: Quarterly:(4) 2007pp. 283-300.
- [15] Bicsák, Gy., Hornyák, A., Veress, Á. Numerical Simulation of Combustion Processes in a Gas Turbine In: IC-NPAA 2012 World Congress: 9th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences., AIP (American Institute of Physics) Conference Proceedings, Vol. 1493, pp. 89-97. (2010)
- [16] Rohacs, D., (et al. 2013) Voskuijl, M., Rohacs, J. Schoustra, R.-J. Preliminary evaluation of the environmental impact related to aircraft take-off and landings supported with ground based (MAGLEV) power, Journal of Aerospace Operations, OS Press, Vo.l. 2., No. 3.-4., 2013, pp. 161-180. ISSN 2211-002X (Print), 2211-0038
- [17] Chester, M. V., Horvath, A. Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains, Environmental Research Letters, Vol. 4. No. 2. 4, 2009, [024008]. DOI: 10.1088/1748-9326/4/2/024008
- [18] Bickel, P., Friedrich, R., Burgess, A, Fagiani, P., Hunt, A., De Jong, G., Laird, J., Lieb, C., Lindberg, G., Mackie, P., Navrud, S. Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment (HEATCO). Deliverable D6: Case Study Results: IER, University of Stuttgart. 2006.
- [19] HEATCO - Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment, Deliverable 5. Proposal for Harmonised Guidelines, IER, Germany, 2006
- [20] Mailbach, M., Schreyer, C., Sutter, D., van Essen, H. P., Boon, B. H., Smokers, R., Schrotten, A., Doll, C., Pawlowska, B., Bak, M. Handbook on estimation of external costs in the transport sector, Produced within the study Internalization Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT), Delft, 2008., p. 336.
- [21] Van Essen, H., Scrotten, A., Otten, M., Sutter, D., Schreyer, C., Zandonella, R., Maibach, M., Doll, C. External costs of transport in Europe, Update study for 2008, CE Delft.,2011, p. 163., http://www.cer.be/sites/default/files/publication/2312_External_Costs_update_study_FINAL.pdf (downloaded at April 6, 2017)

- [22] IPCC Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., p. 1454., https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf
- [23] Korzhenevych, A., Dehnen, N., Bröcker, J., Holtkamp, M., Meier, H., Gibson, G., Varma, A., Cox, V. Update of the Handbook on External Costs of Transport, Final report, Ricardo-AEA/R/ ED57769 Issue Number 1, 8th January, 2014, p. 139., <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/sustainable/studies/doc/2014-handbook-external-costs-transport.pdf> (accessed at 24 of August, 2017)
- [24] WRI - World Resources Institute: Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) 2.0: WRI's climate data explorer, <http://cait.wri.org/>, May 2014. (accessed, April 5, 2017)
- [25] Statistical pocketbook 2016, EU transport in figure, European Commission, European Union, 2016, p. 160
- [26] Ellingsen, L. A.-W., (et al., 2014), Majeau-Bettez, G., Singh, B., Srivastava, A. K., Valøen, L. O., Strømman, A. H. Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack, Journal of Industrial Ecology, Vol. 18., No. 1., pp. 113 - 124.
- [27] Peters, J. F., Baumann, M., Zimmermann, B., Braun, J., Weil, M. The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters--A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, pp. 491-506.
- [28] Romare, M., Dahllöf, L. The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries. A Study with Focus on Current Technology and Batteries for light-duty vehicles, IVL Swedish Environmental Research Institute, Report Number C 243, 2017, p. 58., <http://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebede9559/1496046218976/C243+The+life+cycle+energy+consumption+and+CO2+emissions+from+lithium+ion+batteries+.pdf> (downloaded at 22 of August, 2017)

**KÜLÖNBÖZŐ PROPULZIÓS RENDSZEREKKEL HAJTOTT REPÜLŐGÉPEK TELJES ÉLETTARTAM
CIKLUS EMISSZIÓ ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA**

Ez a cikk röviden bemutatja a járművek és közlekedési rendszerek teljes hatásának az értékelésére kidolgozott új eljárást és alkalmazását a hagyományos, hibrid és villamos hajtású repülőgépek emisszió összehasonlító vizsgálatára. Az alkalmazott eljárás legfontosabb sajátosságai: (i) az összes hatást (környezetterhelés, biztonság, védelem, költség, költség-haszon, fenntarthatóság) vizsgálja, (ii) a hatások a járművek és a közlekedési rendszerek szintjén is értékelhető, (iii) teljes hatás indexet számol. Ez a cikk csak a különböző propulziós rendszerek hatásaival számol.

Kulcsszavak: teljes hatás, hagyományos, hibrid, villamos hajtás, e-mobilitás

Wangai Agnes PhD hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék orcid.org/0000-0003-3916-3141	Agnes Wangai PhD student Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles orcid.org/0000-0003-3916-3141
Kiinzhikeyev Sergey PhD hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék orcid.org/0000-0001-6758-8134	Sergey Kiinzhikeyev PhD student Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles orcid.org/0000-0001-6758-8134
Dr. Rohács József (PhD) egyetemi tanár Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék jrohacs@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-4607-9063	Dr. Jozsef Rohacs (PhD) professor Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles jrohacs@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-4607-9063
Dr. Rohács Dániel (PhD) tanszékvezető egyetemi docens Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék drohacs@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417	Dr. Daniel Rohacs Head of Department, associate professor Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles drohacs@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417

The developed method is intended to be applied in „Small aircraft hybrid propulsion system development” supported by Hungarian national EFOP-3.6.1-16-2016-00014 project titled „Investigation and development of the disruptive technologies for e-mobility and their integration into the engineering education.



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-24-0426_Rohacs_Jozsef_et_al.pdf

Szelei Ildikó

GONDOLATOK A VEZETŐ MINDENNAPI KIHÍVÁSÁIRÓL

E tanulmány azt kívánja fókuszba állítani, milyen mindennapi problémákkal, nehézségekkel kell megküzdeni a vezetőknek a hétköznapiakon. Embereket vezetni, sokkal összetettebb, nehezebb, mint azt sokan gondolják. De mindez akkor hatékony, ha a vezető felelősségteljes és rendelkezik érzelmi intelligenciával. A jó vezető Senge szerint, egyben jó pedagógus is, mivel neki beosztottjait támogatni, serkenteni, segíteni kell. A következőkben első-sorban, a vezető "pedagógusi" oldalát kívánom felvillantani.

Kulcsszavak: vezetés, pedagógia motiváció

BEVEZETŐ

A vezető – legyen az polgári vagy katonai – felelős azért a tevékenységért, amely hatással van a szervezet teljesítőképességére és az egyén eredményességére. Egyszerűen megfogalmazva mit jelent vezetőnek lenni kimondható, hogy több ember munkájának összehangolása a szervezeti célok elérése érdekében, számos tényező együttes figyelembevételével. E munkában azonban csupán a vezetői munka humánus oldalát érintem, döntően annak pedagógiai vonatkozásait vizsgálva.

Senge azt vallja, a jó vezető támogatja, serkenti, segíti beosztottjait. Továbbá fontos, hogy a vezető értékelje az alárendeltjeit, hiszen minden ember visszacsatolást vár a munkájáról. De szükség van arra is, hogy pozitív légkört biztosítson a szervezetben, követeljen, biztosítson sikerélményt az alárendelteknek, ugyanakkor önmaga mutasson példát akár emberként, akár a motiváció terén, mivel a kevésbé motivált vezető, demotiválóan hat az egyénre.

A lineáris szervezetekben, - amelyekben mi is dolgozunk – mindenki azt szeretné, hogy a vezetők (parancsnokok) lássák, ismerjék el munkáját. Vágyunk a pozitív visszacsatolásra, többségünk annál sikeresebbnek érzi magát, minél nagyon elismerést, dicséretet kap. De pl. a hadseregben nem csak a parancsnoki elismerésért dolgozik az egyén, hiszen ez alapvető, mivel itt az önfeláldozásnak és a szolgálatnak magától értetődőnek kell lennie.

FOGALMAK, MEGHATÁROZÁSOK

Fogalmi tisztázásként célszerű értelmezni a pedagógia szó eredeti jelentését, mely a görög pedagógosz szóból származik. Az ókori Görögországban így hívták azokat a személyeket, akik iskolába kísérték, vezették a gyerekeket. Napjainkban is fontos vezetői feladat a beosztottak támogatása a munkafolyamatokban, valamint az egyéni célok elérésében is.

A pedagógia kettős arculatú tudomány. Egyrészt kutató, vagyis a különböző korcsoportú emberek tanításának és taníthatóságának lehetőségeivel, „vezetésével” foglalkozik, ez pedig nem más, mint a vezetői tevékenység. Másrészt - hitem szerint - a vezető, a jó parancsnok egyben nevelő is, hiszen a mindennapi életét az emberekkel való törődés, viselkedésbefolyásolás teszi ki. Valójában, egész nap „nevel”. Hogyan is definiálhatjuk a nevelést?

A pedagógiának a tekintélyi viszonyra való alapozása – legalábbis az elméletben – Friedrich Paulsen nevéhez köthető, aki a maga jelentős, de fölöttébb ellentmondásos nézeteit így fejtette ki az autoritásról: „a nevelt csak azt szereti, akire felnézhet”. Tehát a vezetésben kell a tekintély, de nem az elrettentésre, megfélemlítésnek, hanem a jó kapcsolat, a motiválás, a serkentés eszközeként. Paulsen az autoritást – nem alaptalanul – fölénynek fogva fel, annak három alapvető formáját nevezte meg: a testit, a gazdaságit és a szellemi-erkölcsit. A legfontosabb, hogy mekkora szerepet tulajdonítunk a tekintélynek: rá alapozzuk a nevelést, vagy egy sok összetevőjű kapcsolatrend egyik elemének tekintjük. A *tekintélyelvű* pedagógia a parancsok és tiltások minden kritikát kizáró rendjére épül. Úgy, ahogyan *Thomas Mann* írja le a kaszárnyapedagógia lényegét, amikor Varázshegyének Naphtájával azt mondatja: „Minden valóban nevelő célú testület elejétől fogva tudta, hogy valójában mindenkor és minden pedagógiában miről van szó: az abszolút érvényű parancsról, a vasszilárdságú kötöttségről, fegyelemről, áldozatról, az én megtagadásáról, az egyéniség erőszakos elfojtásáról.” Vagy egy másik irodalmi idézet *André Gide-től*: a tekintélyelv további illusztrációjaként: „a neveltnek akkor is alá kell vetnie magát a felnőtt döntéseinek, ha nem érti, miről van szó.” *Michel Foucault* nagy hatású filozófiája szerint a hatalom gyakorlása a viselkedés vezérlésében áll, az erőszak ennek csupán esetleges eszköze, miként maga a tekintély is. De nem igazolhatók a szélsőségesen tekintélyellenes nevelés elméletei sem. (Zrinszky, 2003. pp. 52-55.) Zrinszky László nyomán, a vezetői nevelés olyan tevékenységként definiálható, amely során a vezető úgy kíván hatni a beosztottakra, hogy azok optimálisan fejlődjenek, abban, amit a vezető fontosnak, elvárandónak tart, valamint, változzanak abban is, amit nem tart kívánatosnak.

MILYEN IS LEGYEN A VEZETŐ?

A beosztottak, mindig szerepmodellnek tekintik a vezetőket, ők azok, akire szakmailag, emberileg fel lehet nézni. De minden vezetőre így tekintenek? Nyilván nem. Vajon milyen tulajdonságokkal kell rendelkeznie, hogy serkentő, facilitátorrá¹ váljon? Mi lehet az oka annak, hogy egyes főnököket, vezetőket a beosztottak követendő mintának tekintenek, míg másokat kevésbé? Természetesen ebben több tényező is szerepet játszhat. Az önmagát elfogadó, motivált vezető jobban odafigyel beosztottjaira, pozitívabb, empatikusabb kapcsolatot alakít ki velük, könnyebben azonosul azok problémáival, kevesebbet kritizál, hatékonyabban látja el irányítói feladatait. Ismeri beosztottjait, segíti a tovább jutásában, továbbképzéseiben. Ebből következően ők a jó érzelmi környezetben, szívesebben végzik feladatukat, könnyebben elfogadnak értelmetlennek tűnő utasításokat is. A vezető nem csupán döntő, ellenőrző, irányító, bíraskodó funkciókat lát el, hanem az emberi folyamatok pszichológiai szabályozása is feladatkörébe tartozik. Ezt a közvetlen részvételen és kommunikáción át végzi, vagyis részese a folyamatoknak, nem tarthatja magát azoktól távol. Ehhez le kell vetkőzni a hagyományos, tekintélyelvű vezetői attitűdöt, ami igen nehéz, mivel e viselkedésformának nagy hagyományai vannak, és sok pszichológiai előnyt biztosít alkalmazójának. Ha ettől csak egyszerűen akarattal próbál megszabadulni, akkor általában egy másik, hibás magatartásformát választ, túlzottan engedékennyé válik, ahogyan ezt nevezik, „laissez faire” (jelentése: "engedjétek csinálni") módon vezet. Ennek során ugyanúgy elkerüli a részvételt, mint az autokratikus módszerrel.

¹ A **facilitátor** egy olyan személy aki facilitál, azaz segít csoportoknak, csapatoknak megérteni a közös céljaikat és segít megtervezni, hogy hogyan ériék el ezeket. Eközben ő semleges marad, nem foglal állást a kérdésekben. Ehelyett a csoport figyelmét vezeti és azt a csoportnak fontos dolgokra fókuszálja. [Wikipedia]

A tekintélyelvűséget azért is nehéz felhagyni, mert a beosztottak is gyakran mintegy elvárják, megkövetelik ezt. Az igazi demokratikus vezetési mód problémái és a megfelelő kommunikáció elsjátítása miatt kezdték el világszerte a vezetők személyiségfejlesztő képzését. Ennek során többnyire csoportmódszerek segítségével elsősorban az interperszonális érzékenységet igyekeztek fokozni.

Nagyon sokat tehet a vezető a jó munkahelyi légkörért is, ami igen fontos, hiszen ilyenben az egyén szívesebben dolgozik. Erre a vezetés befolyási lehetősége sokrétű, mivel letéteményese a munkahelyi szabályok, előírások, normák igazságosságának. Ez a beosztott számára rendkívül fontos, lényegében ez az, amelyet leginkább tudatosítani képes a munkahelyi viszonyokat. Ezek nagyobb része úgy is tudattalanul, öntudatlanul érvényesül benne és körülötte, így tehát érthető, hogy ezt hajlamos túl is értékelni. Ha a jutalmak és a büntetések elosztása nem igazságos az automatikusan csökkenti az azonosulást. Ilyenkor a beosztottak csak annyit tesznek, amennyi elkerülhetetlenül szükséges, és inkább a látszatra törekednek, mint a tényleges teljesítményre. Amennyiben a vezető visszaél az ellenőrzési funkciójában foglalt jogokkal, vagy éppen ebből a jogkörből eredő kötelességeit hanyagul teljesíti, súlyosan károsítja a szervezetet, mert megakadályozza az azonosulást, rontja a munkahelyi légkört.

A vezető irányító és döntő funkciójában a vezetési stílus(ok) lényeges a munkahelyi légkör szempontjából. Ezek igen finom, gyakran nehezen tudatosítható viselkedésbeli megnyilvánulásokból állnak össze. Hatásuk a beosztottakra mégis nagy. Ahogyan a vezető utasításait kiadja, ahogyan információkat kér, amilyen módon döntéseit hozza, ahogyan társas helyzetekben viselkedik, az a beosztottak figyelmének reflektorfényében áll. E megnyilvánulások könnyen okoznak sérelmeket, könnyen teszik az alárendeltet gátlásossá, hamar elérik, hogy nem mernek ellentmondani, hamvában hálnak el a jó ötletek, konstruktív javaslatok, mert nem kiszámíthatók a várható vezetői reakciók. Utóbbi különböző félelmeket, gyakran gyanakvást is szülhet a beosztottakban, ami néha az egész paranoid méretekig erősödhet, gyengítve a szervezeti mentálhigiénét.

Amennyiben a vezető ezt a körülményt nem ismeri fel, ha nem tudja beleélni magát beosztottjai helyzetébe, nem tud kissé azok „fejével is gondolkodni”, észrevétlenül sok hibát vét. Gyakori, szinte természetszerű vezetői hiba a hatalom gyakorlásának előtérbe helyezése, ennek részeként komolyan veszik, megszokják, majd később természetesnek tartják azt a megkülönböztetett figyelmet, amely pozíciónak és nem személynek szól. E szerep mögött vagy elvész, vagy torz körvonalakban mutatkozik meg később az ember. Aki mindinkább a tekintély elvére alapoz, elmulasztja a közvetlen kommunikációt, amit beosztottak igényelnek, a nézetek szabad cseréjét, amelyre különben a döntések, határozatok érdekében is szükség lenne, benne az ellenvélemények toleranciáját. Lassanként szakadék támad közte és alárendeltjei között, ami láthatatlan, de következményei annál súlyosabbak. Azonosulás helyett az érintettek inkább elidegenednek a szervezettől.

Gyakran hallani, hogy az emberek panaszkodnak munkahelyükre, mint idegességük forrására, lelki egyensúlyukat zavaró körülményekre. Érdekes megfigyelni, hogy a frusztrált ember, sokat kritizál, panaszkodik, ez persze nem azonos a szenitív emberekre jellemző tipikus viselkedési módokkal. E a lelki bajok, komoly testi tüneteket is okozhatnak. A vezetői munka számos stresszforrást rejt magában: a határidőket, szervezeti problémákat, panaszkodó beosztottakat. A szerepkonfliktusok, a túlterhelés, az alul terhelés- stresszhez vezethet. Különösen jelentős a főnök, mint stresszforrás, negatívan hathat az énképünkre, ronthatja karrierkilátásunkat. Ha a beosztott úgy érzi, főnöke el-

lenséges vele, nem kedveli, szorongást válthat ki, rengeteg negatív következménnyel járhat, nemcsak az önbecsülését ronthatja, de a munkára való koncentrálását is csökkenti. Mindenképpen érdemes a vezetőknek átgondolni saját felelősségüket, módszereiket, hiszen a mai kor következményeként nagy a felelősségük az egyének mentális egészségvédelmében.

Amikor valaki belép egy munkahelyre, örül, hogy van állása, szeretné képességei legjavát nyújtani. Ilyenkor fennálló igényeit – pénz, karrierlehetőség, erőpróba, biztonság stb. – az állás megszerzésével már kielégítette, boldogság tölti el. Ugyanakkor mindenki teljes személyiségével van jelen munkahelyén, a munkával kapcsolatos igényei és érdekei mellett a személyes vonatkozásúak is megjelennek. Ha úgy érzi, hogy vezetője figyelmen kívül hagyja szükségleteit, vagy akadályozza érdekei megvalósításában, akkor elveszti lelkesedését munkája iránt. Az embereket személyes céljaik mozgatják, a jól végzett munkából származó előny vagy jutalom már a munkavégzés során is kellemes érzéssel tölti el őket. Bár kevesen látják át és többnyire nem is értik az érdekeik mögött húzódó indítékokat, mozgatórugókat, azok vagy a magyarázat ott lapul minden cselekedet mögött. Amíg indítékaink sugallatára meg nem teszünk valamit, nem is tudunk a létezéséről, mindössze hiányérzetet, bizonytalanságot, vágyat érzünk. E homályos késztetés ösztönöz bennünket, hogy csökkentsük hiányérzetünket vagy igényeinknek érvényt szerezzünk. Ebben rejlik a motiváció lényege. Minden ember szeretne valamit kezdeni magával, szeretné munkáját szívesen végezni, ezt a hajtóerőt kellene a vezetőnek kihasználni a hatékony munkavégzés érdekében, fenntartani igyekezetüket, lelkesedésüket. De hogyan lehetséges ez? Milyen tényezők szükségesek ahhoz, hogy az egyén feladatát szívesen végezze, munkahelyén jól érezze magát?

Az irányítás hatékonyságának nélkülözhetetlen szegmense, kulcsa, hogy a vezető miként tudja motiválni, befolyásolni a kollegáit. A motiváció vizsgálata azért nehéz, mivel csak közvetve, más tényezők kapcsán lehet megfigyelni, nyomon követni és általában összekapcsolják azzal a kérdéssel, hogy mi indítja el, és mi működteti a viselkedést. Mindez pusztán nyers adatokat szolgáltat, amelyekből arra következtethetünk, hogy milyen lehet az egyének motivációja. Ugyanakkor e tapasztalatok, információk segíthetik a vezető munkáját, és egyben az egyének motivációs állapotának felmérését is szolgálhatják.

A motiváció szó a latin *movere* – mozogni, mozgatni, kimozdítani igéből származik. Jelentése is ez, kimozdító, mozgató „erő”. A motiváció fogalma akkor merül fel, amikor kíváncsiak vagyunk arra, miért viselkednek az emberek úgy, ahogy érzékeljük. Tulajdonképpen egy gyűjtőfogalom, amibe beletartozik minden cselekvésre, viselkedésre késztető belső tényező. Fogalmát sokan próbálták körül írni, meghatározni különböző szempontok alapján. A viselkedés, a késztetés okának magyarázata az évek során sokat változott, alakult. Az alábbiakban néhány jellegzetes fogalmi definíciót olvasható a vonatkozó szakirodalomból. A Pszichológiai Lexikon szerint a motiváció tartalma a „dinamikus tényezők összessége, amelyek az egyén viselkedését meghatározzák. Viselkedésünk gyökerében valójában nemcsak egyetlen ok rejtőzik, hanem tudatos és tudattalan, fiziológiai, értelmi, érzelmi és társadalmi tényezők szétválaszthatatlan összessége, amelyek kölcsönhatásban vannak egymással.”([8], p. 181.)

A Pedagógiai Lexikonban ([5] p. 588.) az található, hogy a motiváció a viselkedést kiváltó belső késztetés, indíték, amelynek sokféle típusa létezik, s ezek több szempont alapján csoportosíthatók.

A motiváció Fraisse szerint erőelv, amely a szervezetet egy bizonyos cél elérésére mozgatja. Pieron meghatározásában, a viselkedés alkalmazkodás béli iránya [6]. Pavlov értelmezésében az agykéreg

uralkodó ingere, amely belső szükségletek és a külső ingerek szintéziseként jön létre. Kiss Árpád pedig ezt írja: „olyan viszonylagos tartós inger, mely befolyása alatt tartja az egyén magatartását mindaddig, míg a megfelelő válasz (reakció) az izgalmi állapotot meg nem szünteti” ([7]. p. 9.).

A motiváció Kozéki értelmezésben a tevékenység rugója, az a belső feszültség, mely a személyiséget arra készíti, hogy erőfeszítéseket tegyen adott szükségletei kielégítése érdekében. Ennek potenciális oldala maga a motívum, aktív oldala pedig a motiváció ([5] p. 57.).

Mint azt a fentiekben láthattuk, a motiváció fogalmának meghatározására széles skála áll rendelkezésünkre, mivel ahány teoretikus foglalkozott e kérdéskörrel, mind igyekezett saját álláspontját is kifejezésre juttatni. A motiváción vagy motívumon tehát a szükséglet indította, célra irányuló meghatározót értjük. A szükséglet és a motiváció azonban jól elkülöníthető egymástól. A közöttük levő különbséget az jellemzi, hogy az utóbbi érzelmileg színezett, az ember gondolataiban és elképzeléseiben megjelenő, kívánatos vagy nem kívánatos célkategória, amely cselekvésre, tevékenységre ösztönöz, így tehát nem csak a szükségletek befolyásolják, hanem a környezet és maga a személyiség is.

KÖVETKEZTETÉSEK, AJÁNLÁSOK

Az ember megismeréséhez és formálásához egyaránt elengedhetetlen a motiváció elmélyült ismerete, s ennek tudatos működtetése a vezetői munkában, legyen az bármilyen szervezet, intézmény, hiszen az embert csak az készíti tartósan tevékenységre, aminek számára személyes jelentősége van. Az egyén motivációja azonban nem magától jön létre, hanem a szocializáció hatására formálódik. Az ember tevékenységét saját belső ösztönző rendszere határozza meg, a motivációs hierarchiája viszont a tevékenysége, szocializációja során nyert tapasztalatok alapján fejlődik, ezért nem mindegy hogyan szocializálódik.

Az egyének motiváltságának, elhivatottságának egyik fontos meghatározója a vezetők, felettesek személyes példaadása, ami a legmarkánsabban a mindennapokban nyilvánul meg, hiszen egy vezető leginkább személyes viselkedésével, magatartásával nevel, példát szolgáltat minden mozdulattal, cselekedetével. Észrevétlenül saját motiváltságát, attitűdjét is felszínre hozza minden pillanatban, ami különösen káros, abban az esetben, ha maga is negatív motiváltságot, fásultságot mutat a feladattal, a szakmával kapcsolatban. A vezetők személyes tevékenysége és magatartása azért tekinthető példaképformáló tényezőnek, mert a különleges, pedagógiai és pszichológiai értelemben fölérendelt helyzetéből fakadóan, szándékától függetlenül magatartási és tevékenységi mintát közvetít. Ez a hatás nem mindig érvényesül optimális szinten és minőségben. A személyes példa egyik alapfeltétele a tekintély, amely a fegyveres szervezetekben talán a legszembetűnőbb. Ez csak akkor valósulhat meg, és akkor lehet pozitív üzenete, ha az adott vezető hiteles, vagyis van szakmai, erkölcsi, emberi, pedagógiai kompetenciája. Ha a szakmát jól ismeri, kulturált megjelenést, megfelelő fizikumot tükröz, s követel, s maga is így áll ki a beosztottak elé. A motivációban igen fontos szerepe van a váagnak is, amely a viselkedésünk céljává válik. Ilyen lehet az előmenetel, a sikerélmény, a mások általi elismertség. A cél elérésével a motivált viselkedés leáll, megszűnik, ilyenkor különböző érzések, pl. örömezt, elégedettséget élünk át, ezért fontos, hogy mindig legyenek rövid és hosszú távú céljaink a munkában, amiben sokat segíthet a kreatív vezető [4].

Minden emberben jelentkezik a kompetenciára irányuló készítés, ami azt jelenti, hogy képes környezetében hatékonyan cselekedni, arra hatást gyakorolni. Ha a környezetünkkel bánni tudunk, kellemes érzést élünk át, sikeresnek érezzük magunkat, s ez növeli önérzetünket, önbecsülésünket [10].

Arra a kérdésre, hogy mivel lehet valakit motiválni, valószínűleg az emberek többsége azt válaszolná, hogy pénz, pénz, pénz. De ez az esetek többségében nem így van, fontos lehet az előléptetés, a felelősségvállalás, az erőpróbát jelentő feladat, a jó munkahelyi légkör, az elismerés stb. Maslow szerint az emberek teljesítménye úgy növelhető, ha „teret adunk emberi mivoltuknak” [5].

Olyan munkahelyi környezetet kell teremtenünk, amelyben az ott dolgozók velünk, önmagukkal és egymással összhangban tevékenykednek és hisznek abban, hogy a csoportérdek mellett saját szükségleteiket is kielégíthetik. A vezető bátorító, segítőkész magatartása elősegítheti ezt. Természetesen a jó és a rossz cél érdekében egyaránt ösztönözhetünk másokat, kiválthatjuk belőlük a legjobbat és a legrosszabbat is, gondoljunk csak John Kennedyre és Adolf Hitlerre.

Az egyén nyitottságát, fogékonyságát kell kihasználni, akit akkor is motiválhatunk, ha a készítése gyenge vagy éppenséggel hiányzik. Ha azonban nem azonosul a feladattal vagy a tevékenységgel, akkor viselkedése nem lesz tartós. Annak, akire hatást akarunk gyakorolni, azonosulnia kell valamelyest a feladattal, mert különben ellen fog állni minden igyekezetünk ellenére, ennek pedig az az oka, hogy az egyén más irányba motivált.

A jó vezető, mint parancsnok, pedagógus megóvjá a szervezetét, a belső rivalizálásóktól, amely aláássa a szervezeti kultúrát. Ha egymás ellen kell védekeznünk, azt a munkahely megszenvedi. Ha viszont a bizalom és az együttműködés a meghatározó, akkor „együtt toljuk a szekeret”, és ez a szervezet megerősödéséhez vezet. Az emberben működő rendszerek megóvnak minket a veszélytől, és az érdeünkben álló cselekvések ismétlésére ösztökélnek, arra a környezetre reagálnak, amelyben élünk és dolgozunk. Ha veszélyt érzünk, védekező állásba merevedünk. Ha biztonságot érzünk a munkahelyünkön, ellazulunk, és nyitottabbá válunk a bizalomra és az együttműködésre. A tanulmány néhány gondolatot villantott csupán a vezetők mindennapi kihívásairól, azokról a feladatokról, kihívásokról, amit a vezető, a pedagógus nap mint nap végez.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Buda Béla - Havas Ottóné (1974): A felnőttkor küszöbén. Tankönyvkiadó, Bp.
- [2] Czeizel Endre (1994): Az érték mindig bennünk van. Akadémia Kiadó, Bp.
- [3] Jakab Zoltán: In: Báthory Zoltán –Falus Iván (1977): Pedagógiai Lexikon. Keraban Kiadó, Bp.
- [4] Kozéki Béla (1975): A Motiválás és motiváció. Tankönyvkiadó, Bp.
- [5] Kozéki Béla (1986): Motivációs és orientációs típusok vizsgálata magyar és brit iskolákban. Magyar Pszichológiai Szemle, 6. sz. Bp.
- [6] Mészáros László (2004): Pedagógia I. ZMNE, Bp.
- [7] Réthy Endréné (1978): Motiváció a tanítási órán. Tankönyvkiadó, Bp.1978.
- [8] Sillamy, Norbert (1992): Pszichológiai Lexikon. Corvina Kiadó, Bp.
- [9] Szilágyi Klára-Völgyesy Pál (1985): A pályafejlődés vizsgálatának módszertani lehetőségei a felsőoktatásban. Oktatókutató Intézet, Bp.
- [10] Szegedi Péter, Turcsányi Károly, Tóth József: Competence-Centered Education of Officers Thoughts about a recent Research of Competencies in Military Aviation Maintenance REVISTA ACADEMIEI FORTELOR TERESTRE / LAND FORCES ACADEMY REVIEW XXII:(2) pp. 103-109. (2017)
- [11] Szilágyi Klára (1987): A Super-féle munkaérték kérdőív. Oktatókutató Intézet, Bp.
- [12] Zrinszky László (2003): Neveléstudomány. Műszaki Kiadó, Bp.

THOUGHTS ABOUT THE DRIVER'S EVERYDAY CHALLENGES

This study focus on which everyday problems and difficulties have to be faced by managers on daily level. Leading people is more complex and more difficult than many people think. But it is only effective if the leader is responsible and possesses emotional intelligence. According to Senge, a good leader is also a good teacher because he needs to support, encourage and help his staff. This essay mainly focuses on the "pedagogical" side of the leaders.

Keywords: leadership, pedagogy, motivation

Szelei Ildikó (PhD)
Egyetemi docens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Vezetőképző Intézet
Katonai Vezetői és Közismereti Tanszék
szelei.ildiko@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-6770-2969

Ildikó Szelei (PhD)
Associate professor
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Department of Military Leadership and Generalsubject
szelei.ildiko@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-6770-2969



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-25-0500-Szelei_Ildiko.pdf

