



## REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK



**XXXI. évfolyam**  
**2019. 1. 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:**

Dr. Kavas László alezredes, PhD  
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service  
Dr. Békési Bertold alezredes, PhD  
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service  
Dr. Palik Mátyás ezredes, PhD  
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service  
Dr. Szilvássy László alezredes, PhD  
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service  
Dr. Dunai Pál alezredes, PhD  
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service  
Dr. Bottyán Zsolt százados, PhD  
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service  
Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, CSc

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 részt vevő hallgatók kutatási eredményeik közzétételére a repüléstudomány, illetve az ehhez kapcsolódó tudományterületeken.

**MEGJELENÉS**

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

Kiadó: Nordex Nonprofit Kft. – Dialóg Campus Kiadó

A kiadásért felel: Petró Ildikó ügyvezető

Nyomdai kivitelezés: Nordex Nonprofit Kft.

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](mailto:RepTudKozl@uni-nke.hu)

HU ISSN 1789-770X (Online)

HU ISSN 1417-0604 (Nyomtatott)

Borítón található fénykép Alexander Tarasenkov (JetPhotos.com) készítette

## TARTALOM

---

<b>Pokorádi László</b> Üzemeltetési folyamat súlyozott érzékenységvizsgálata	7
<b>Schuster György</b> Szoftvertervezés	17
<b>Molnár Bernadett</b> A repülésirányítók teljesítőképességének és szakmai attitűdjének vizsgálati tapasztalata pszicho-fiziológia mérési eredmények alapján	25
<b>Dobi Sándor Gábor, Horváth Krisztina, Rohács Dániel</b> Drónok piacához köthető üzleti felhasználási lehetőségek áttekintése a szegmens aktualitásainak tükrében	33
<b>Szakács Tamás, Pokorádi László</b> Pneumobil vezérlési rendszerének gráfvizsgálata	53
<b>Márton Andrea</b> Az Amerikai Egyesült Államok Északi-sark stratégiája	69
<b>Pokorádi László, Lázár-Fülep Tímea</b> Komplex kapcsolatú járműrendszerek megbízhatósági kérdései	77
<b>Domán László</b> Az Airbus H145M helikopter és a túlélőképesség	85
<b>Makkay Imre</b> Másodlagos információforrások a légtérben	103
<b>Békési Bertold, Ludányi Lajos</b> A HOMER autotuner alkalmazása az aktív szenek mikrohullámú vizsgálata során	113
<b>Szabolcsi Róbert</b> Kisméretű UAV modell prediktív alapú irányítása	125
<b>Bali Tamás</b> Complex Approach to the Helicopter Pilot's Operational Training	141

## TARTALOM

---

<b>Palik Mátyás, Nagy Máté</b> <b>Brief History of UAV Development</b>	<b>155</b>
<b>Huszár Péter</b> <b>UAV és földi szegmense közötti kommunikáció hatékonyságának javítása</b>	<b>167</b>
<b>Szarvas Dávid, Tichy Roland, Rohács Dániel</b> <b>Mesterséges intelligencia alkalmazása az aviatikában</b>	<b>183</b>
<b>Stanislav Szabo</b> <b>Aeronautical and Aerospace Engineering – a New Field of Study in the System of the Fields of Study in the Slovak Republic</b>	<b>205</b>
<b>Nagy Imre</b> <b>Légköri gázokkal táplált ionhajtóművek</b>	<b>213</b>

## TARTALOM

---

## TARTALOM

---

## SZERZŐK – AUTHORS

---

Dr. Békési Bertold (PhD)  
alezredes, egyetemi docens  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Repülő Intézet  
Fedélzeti Rendszerek Tanszék  
bekesi.bertold@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-5709-789X

Bertold Békési Dr. (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  
bekesi.bertold@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-5709-789X

Dobi Sándor Gábor  
junior kutatás-fejlesztési szakértő  
HungaroControl Magyar Légiforgalmi Zrt.  
Üzletfejlesztési Igazgatóság  
Szakmai Fejlesztési Osztály  
Kutatás Fejlesztési Csoport  
sandor.dobi@hungarocontrol.hu  
orcid.org/0000-0001-6093-7805

Sándor Gábor Dobi  
Junior Research and Development Specialist  
HungaroControl Hungarian Air Navigation Services  
Business Development Directorate  
Research, Development and Simulation Department  
Research and Development Unit  
sandor.dobi@hungarocontrol.hu  
orcid.org/0000-0001-6093-7805

Domán László őrnagy,  
főtechnológus (osztályvezető helyettes)  
Magyar Honvédség Légijármű Javitóüzem  
Műszaki Fejlesztési és Technológiai Osztály  
doman.laszlo79@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-4472-2609

Major László Domán  
chief technologist (Deputy Head of Dep.)  
Hungarian Defence Forces Aircraft Repair Plant  
Technical Development and Technological Department  
doman.laszlo79@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-4472-2609

Horváth Krisztina  
kutatás-fejlesztési csoportvezető  
HungaroControl Magyar Légiforgalmi Zrt.  
Üzletfejlesztési Igazgatóság  
Szakmai Fejlesztési Osztály  
Kutatás Fejlesztési Csoport  
krisztina.horvath@hungarocontrol.hu  
orcid.org/0000

Horváth Krisztina  
Head of Research and Development Unit  
HungaroControl Hungarian Air Navigation Services  
Business Development Directorate  
Research, Development and Simulation Department  
Research and Development Unit  
krisztina.horvath@hungarocontrol.hu  
orcid.org/0000

Huszár Péter  
doktorandusz hallgató  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Műszaki Doktori Iskola  
huszar.peter.92@gmail.com  
orcid.org/0000-0001-6169-3777

Péter Huszár  
PhD student  
National University of Public Service  
Faculty of Military Science and Officer Training  
Doctoral School of Military Engineering  
huszar.peter.92@gmail.com  
orcid.org/0000-0001-6169-3777

Lázár-Fülep Tímea (PhD)  
egyetemi adjunktus Óbudai Egyetem  
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki  
Kar  
lazarfulep.timea@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0003-1164-9828

Tímea Lázár-Fülep (PhD)  
assistant professor Óbuda University  
Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety  
Engineering  
lazarfulep.timea@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0003-1164-9828

Dr. Ludányi Lajos (PhD)  
ny. alezredes, főiskolai tanár  
ludanyi.lajos@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-6677-5250

Lajos Ludányi Dr. (PhD)  
ret. Lieutenant Colonel, College Professor  
ludanyi.lajos@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-6677-5250

Dr. Makkay Imre, CSc  
nyugalmazott egyetemi tanár  
drmi48@gmail.com  
orcid.org/0000-0003-3513-1310

Dr. Makkay, Imre CSc  
professor emeritus  
drmi48@gmail.com  
orcid.org/0000-0003-3513-1310



## SZERZŐK – AUTHORS

---

Márton Andrea (PhD)  
Magyar Honvédség Parancsnoksága  
Haderőtervezési Csoportfőnökség  
marton.andrea@mil.hu  
orcid.org/0000-0002-4216-4797

Andrea Marton (PhD)  
Hungarian Defence Forces Command  
Force Planning Directorate  
marton.andrea@mil.hu  
orcid.org/0000-0002-4216-4797

Molnár Bernadett  
Hallgató  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Repülő Intézet  
Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék  
molnarbernadett1995@gmail.com  
orcid.org/0000-0001-7791-4159

Bernadett Molnár  
Student  
National University of Public Service  
Faculty of Military Science and Officer Training  
Institute of Military Aviation  
Department of Aerospace Controller and Pilot Training  
molnarbernadett1995@gmail.com  
orcid.org/0000-0001-7791-4159

Nagy Imre (PhD)  
Egyetemi adjunktus  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Logisztikai Intézet  
Természettudományi Tanszék  
nagy.imre@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-0545-4381

Imre Nagy (PhD)  
Senior Lecturer  
National University of Public Service  
Faculty of Military Science and Officer Training  
Institute of Military Logistics  
Department of Natural Sciences  
nagy.imre@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-0545-4381

Nagy Máté  
Magyar Honvédség  
Légi Vezetési és Irányítási Központ  
nagy.mate@mil.hu  
orcid.org/0000-0002-9636-7338

Máté Nagy  
Hungarian Defence Forces  
Air Command and Control Center  
nagy.mate@mil.hu  
orcid.org/0000-0002-9636-7338

Dr. Palik Máttyás  
ezredes, egyetemi docens  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Repülő Intézet  
palik.matyas@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-2304-372X

Matyas Palik, PhD  
Colonel, Associate Professor  
National University of Public Service  
Faculty of Military Science and Officer Training  
Institute of Military Aviation  
palik.matyas@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-2304-372X

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

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

Rohács Dániel (PhD)  
szakmai fejlesztési osztályvezető  
HungaroControl Magyar Légiforgalmi Zrt.  
Üzletfejlesztési Igazgatóság  
Szakmai Fejlesztési Osztály  
daniel.rohacs@hungarocontrol.hu  
orcid.org/0000-0002-4629-4417

Daniel Rohács (PhD)  
Head of Research, Development and Simulation Dept.  
HungaroControl Hungarian Air Navigation Services  
Business Development Directorate  
Research, Development and Simulation Department  
daniel.rohacs@hungarocontrol.hu  
orcid.org/0000-0002-4629-4417

Schuster György (PhD)  
docens, főiskolai tanár  
Óbudai Egyetem  
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar  
Műszertechnikai és Automatizálási Intézet

György Schuster (PhD)  
associate professor, college professor  
Óbuda University  
Kandó Kálmán Faculty of Electrical Engineering  
Institute of Instrumentatio and Automation

## SZERZŐK – AUTHORS

---

schuster.gyorgy@kvk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-8573-3670

schuster.gyorgy@kvk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-8573-3670

Stanislav Szabo (PhD., MBA, LL.M)  
kari dékán, egyetemi docens  
Kassai Műszaki Egyetem  
Légügyi Kar  
stanislav.szabo@tuke.sk  
orcid.org/0000-0003-1488-871X

Stanislav Szabo (PhD., MBA, LL.M)  
Dean of the Faculty of Aeronautics, Associate professor  
Technical University in Košice  
Faculty of Aeronautics  
stanislav.szabo@tuke.sk  
orcid.org/0000-0003-1488-871X

Prof. Dr. habil. Szabolcsi Róbert (PhD)  
Egyetemi tanár  
Óbudai Egyetem  
Bánki Donát Gépész- és Biztonságtechnikai Mérnöki  
Kar  
Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
Mechatronika Tanszék  
szabolcsi.robert@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-2494-3746

Dr. Szabolcsi Róbert (PhD)  
Full professor  
Óbuda University,  
Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety  
Engineering  
Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering  
Deptmanet of Mechatronics  
szabolcsi.robert@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-2494-3746

Dr. Szakács Tamás (PhD)  
adjunktus  
Óbudai Egyetem,  
Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
szakacs.tamas @bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-7636-7488

Tamás Szakács Dr. (PhD)  
lecturer  
Óbuda University,  
Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering  
szakacs.tamas@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-7636-7488

Szarvas Dávid  
Kutatás-fejlesztési szakértő  
HungaroControl Magyar Légiforgalmi Zrt.  
Üzletfejlesztési Igazgatóság  
Szakmai Fejlesztési Osztály  
david.szarvas@hungarocontrol.hu  
orcid.org/0000-0001-7761-9299

Dávid Szarvas  
Research and Development Specialist  
HungaroControl Hungarian Air Navigation Services  
Business Development Directorate  
Research, Development and Simulation Department  
david.szarvas@hungarocontrol.hu  
orcid.org/0000-0001-7761-9299

Tichy Roland  
Junior kutatás-fejlesztési szakértő  
HungaroControl Magyar Légiforgalmi Zrt.  
Üzletfejlesztési Igazgatóság  
Szakmai Fejlesztési Osztály  
roland.tichy@hungarocontrol.hu  
orcid.org/0000-0003-3198-3663

Roland Tichy  
Junior Research and Development Specialist  
HungaroControl Hungarian Air Navigation Services  
Business Development Directorate  
Research, Development and Simulation Department  
roland.tichy@hungarocontrol.hu  
orcid.org/0000-0003-3198-3663



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/378/29>

Pokorádi László

## ÜZEMELTETÉSI FOLYAMAT SÚLYOZOTT ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLATA

DOI: 10.32560/rk.2019.1.1

*Az üzemeltetési, karbantartási vezetők döntésének egyik mozgató rugója az adott szakterület sajátosságain alapuló értékrendjük. Ez meghatározó szerepet játszik a karbantartással kapcsolatos döntéshozatalban. A szakemberek szubjektív megközelítései meghatározhatók, és súlyszámokkal jellemezhetőek. Tanulmányunkban az üzemeltetési folyamatok sztochasztikus modellezésére épülő úgy nevezett súlyozott érzékenység vizsgálatát mutatjuk be.*

*Kulcsszavak:* üzemeltetés, érzékenységvizsgálat, döntéshozatal

### BEVEZETÉS

A műszaki élet egyik legfontosabb területe a technikai eszközök karbantartása, javítása. Egy karbantartási rendszer menedzsmentjének hatékonyságát az egységnyi üzemidőre eső karbantartási költség, kiszolgálási munkaigény, vagy a rendelkezésre állás alapján tudjuk minősíteni.

Az üzemeltetési rendszerek, illetve folyamatok rendszerszemléletű leírásának és matematikai modellezésének alapjai Pokorádi [3], [5], [7] publikációiból ismerhető meg részletesen. Pokorádi [3] tanulmányában javasolt szimulációs érzékenység-elemzési eljárás alkalmas a karbantartási rendszer hatékonyságának növeléséhez szükséges döntések támogatására. Ekkor viszont fontos szempont a különböző üzemeltetési rendszer, illetve folyamatjellemzők szakma-specifikus súlyának ismerete.

Kavas szerint a több-szempontrú döntések esetén az egyik lényeges elem az értékelési szempontok fontossági sorrendjének minél pontosabb meghatározása, másképpen a fontossági sorrend súlyozása. A szempontrendszer kialakítása folyamatában a szempontokhoz tartozó konzisztencia meghatározása az egyik legfontosabb és legnehezebb feladat. A komplex adatértékelés elképzelhetetlen súlyozási lépések végrehajtása nélkül, mert a legjobb döntési alternatíva mellett a lehetséges választások rangsora meghatározható [2].

Kavas szerint az alkalmazhatóság, a megbízhatóság és a pontosság szempontjából a Guilford féle eljárás a legelfogadottabb [2]. Egyszemélyes döntéshozatal esetén nem javasolt a módszer alkalmazása, csoportos munkamódszernél is követelmény a nem teljes egyetértés teljesülése. Nagy előnye továbbá, hogy az elemző, összehasonlító munkát csupán az összevetendő tényezők párosaiban szükséges elvégezni, a súlyszámok már automatikusan adódnak az eljárás lépéseinek során. További gyakorlati tapasztalat az elemző csoport vonatkozásában, a szükséges minimális létszám. A Guilford eljárást minimum 5 fős csoport létszám esetében ajánlatos alkalmazni [1].

Ágoston – szerzőtársaival – a karbantartó szakemberek szubjektív, szakma-specifikus véleményeit elemezte a páros összehasonlítás módszerével [1], [4], [6].

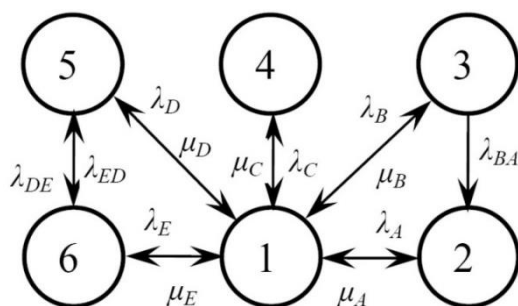
Jelen dolgozat célkitűzése fenti tanulmányok eredményeit felhasználva bemutatni az üzemeltetési folyamatok úgynevezett súlyozott érzékenységvizsgálatát. A javasolt módszer választ ad a vizsgált rendszer szakma-specifikus karbantartási szempontú optimalásának kérdéseire.

A tanulmány az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet a szemléltetésre választott üzemeltetési folyamat sztochasztikus matematikai modelljét mutatja be, röviden. A 3. fejezetben a páros összehasonlítás módszerével meghatározott szakma-specifikus súlyértékei ismerhetőek meg. A 4. fejezet a súlyozott érzékenység vizsgálatot írja le. Végezetül az 5. fejezetben a Szerző összegzi munkáját.

## A VIZSGÁLT ÜZEMELTETÉSI FOLYAMAT MODELLJE

A szemléltetésre kiválasztott technikai rendszer egyik berendezésének üzemeltetése során négy eltérő fő típusú – adott részegységekhez kötődő – meghibásodást tapasztaltak (**A**; **B**; **D**; **E**), melyek a leállások körülbelül 94%-t okozzák. A többi, nem szignifikáns mértékű meghibásodások javítását a **C** típusú meghibásodás javításaként kezeljük. A **B** típusú hiba javítása közben gyakran feltárták a szerelők, hogy az **A** típusú hiba fellépése is hamarosan bekövetkezhet. Hasonló (de „oda-vissza”) jelenségeket tapasztaltak a **D** és az **E** típusú meghibásodások javítása során is. Ekkor, megelőzési céllal, a másik típusú hibát kiváltó részegység javítását is elvégezték a karbantartók. A üzemeltetési adatok statisztikai elemzése kimutatta, hogy a meghibásodások bekövetkezési gyakoriságai exponenciális jellegű eloszlásokkal bírnak és a gyártósor működési idejétől függetlenek. A meghibásodások és a javításaik statisztikai főbb adatait az 1. táblázat tartalmazza.

Üzemeltetési folyamat stacioner valószínűségi modelljének felállítását a gráf modell felrajzolásával kezdjük. A folyamatot súlyozott élű, irányított gráffal tudjuk szemléltetni, ahol az élek súlyát az állapotváltási valószínűség sűrűségek (meghibásodási, illetve javítási ráták) adják meg (1. ábra).



1. ábra A folyamat gráf modellje

- 1 – rendeltetésszerű használat; 2 – **A** típusú meghibásodás javítása;
- 3 – **B** típusú meghibásodás javítása; 4 – **C** típusú meghibásodás javítása;
- 5 – **D** típusú meghibásodás javítása; 6 – **E** típusú meghibásodás javítása

A gráf modell alapján a Kolmogorov-féle differenciál-egyenletrendszer – mely az állapotokban való tartózkodás valószínűségeinek időbeni változását írja le – estünkben az alábbi módon adható meg:

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_1}{d\tau} &= m_{11}P_1 + m_{12}P_2 + m_{13}P_3 + m_{14}P_4 + m_{15}P_5 + m_{16}P_6 \\
 \frac{dP_2}{d\tau} &= m_{21}P_1 + m_{22}P_2 + m_{23}P_3 \\
 \frac{dP_3}{d\tau} &= m_{31}P_1 + m_{33}P_3 \\
 \frac{dP_4}{d\tau} &= m_{41}P_1 + m_{44}P_4 \\
 \frac{dP_5}{d\tau} &= m_{51}P_1 + m_{55}P_5 + m_{56}P_6 \\
 \frac{dP_6}{d\tau} &= m_{61}P_1 + m_{65}P_5 + m_{66}P_6
 \end{aligned} \tag{1}$$

ahol  $m_{ij}$  az állapotváltási intenzitások, melynek értékeit a 2. táblázat tartalmazza.

Meghibásodás	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
MTBF [óra]	1316,3	892,8	1339,4	1410,1	1396,4
Meghibásodási ráta $\lambda$ [óra <sup>-1</sup> ]	$7,597 \cdot 10^{-4}$	$1,1201 \cdot 10^{-3}$	$7,466 \cdot 10^{-4}$	$7,0917 \cdot 10^{-4}$	$7,1613 \cdot 10^{-4}$
Javítási átlagidő MTTR [óra]	7,08	9,63	2,14	8,21	7,62
Javítási ráta $\mu$ [óra <sup>-1</sup> ]	0,14124	0,10384	0,46729	0,1218	0,13123
Átl. javítási költség $rc_i$ [€]	150,2	115,4	98,7	210,8	352,4
Átlagos munkaigény $rw_i$ [munkaóra]	14,16	14,45	5,35	24,63	17,5
$\lambda_{ij}$ [óra <sup>-1</sup> ]	–	0,427	–	0,613	0,524

1. táblázat Statisztikai elemzés főbb adatai

$m_{11} = -(\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D + \lambda_E)$	$m_{12} = \mu_A$
$m_{13} = \mu_B$	$m_{14} = \mu_C$
$m_{15} = \mu_D$	$m_{16} = \mu_E$
$m_{21} = \lambda_A$	$m_{22} = -\mu_A$
$m_{23} = \lambda_{BA}$	$m_{31} = \lambda_B$
$m_{33} = -(\mu_B + \lambda_{BA})$	$m_{41} = \lambda_C$
$m_{44} = -\mu_C$	$m_{51} = \lambda_D$
$m_{55} = -(\mu_D + \lambda_{DE})$	$m_{56} = \lambda_{ED}$
$m_{61} = \lambda_E$	$m_{65} = \lambda_{DE}$
$m_{66} = -(\mu_E + \lambda_{ED})$	

2. táblázat Állapotváltási sűrűségek

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

$$\frac{dP_1}{d\tau} = \frac{dP_2}{d\tau} = \frac{dP_3}{d\tau} = \frac{dP_4}{d\tau} = \frac{dP_5}{d\tau} = \frac{dP_6}{d\tau} = 0 \tag{2}$$

A megoldás további feltétele az is, hogy

$$\sum_{i=1}^6 P_i(\tau) = 1 \quad , \quad (3)$$

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

A fenti feltételek alapján felállítható matematikai modell megoldásakor problémaként jelentkezett, hogy a numerikus algoritmusok könnyen a

$$p = 0$$

triviális megoldást adják, vagy adhatják. Az esetünkben hat-ismeretlenes egyenletrendszer hét-ismeretlenesre alakította át. Az állapotokban tartózkodások valószínűségeinek vektora hetedik elemének a teljes eseménytér bekövetkezésének valószínűségét adják meg. Így az alábbi lineáris matematikai modellt kell megoldani.

$$\begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{15} & m_{16} & 1 \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & 0 & 0 & 0 & 1 \\ m_{31} & 0 & m_{33} & 0 & 0 & 0 & 1 \\ m_{41} & 0 & 0 & m_{44} & 0 & 0 & 1 \\ m_{51} & 0 & 0 & 0 & m_{55} & m_{56} & 1 \\ m_{61} & 0 & 0 & 0 & m_{65} & m_{66} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad . \quad (4)$$

Az egyenletrendszer – az 1. táblázat értékeinek felhasználásával történő – megoldása az alábbi állapotokban való tartózkodási valószínűségeket jelenti:

$$\begin{aligned} P_1 &= 9,7399 \cdot 10^{-1}; & P_2 &= 1,1452 \cdot 10^{-2}; \\ P_3 &= 2,0551 \cdot 10^{-3}; & P_4 &= 1,5562 \cdot 10^{-3}; \\ P_5 &= 5,1048 \cdot 10^{-3}; & P_6 &= 5,8403 \cdot 10^{-3}. \end{aligned}$$

A kapott eredmény alapján ki tudjuk jelenteni, hogy a berendezés esetén 97,4%-os készenlélet tudunk biztosítani a jelenlegi karbantartási rendszerrel. Mivel ismertek a javítási költségek, illetve a javítási munkaigények, így prognosztizálhatjuk, egy adott  $T$  vizsgálati idő alatti  $RC_\Sigma$  javítási költséget, illetve  $WE_\Sigma$  munkaigényt. Ez az alábbi összefüggések segítségével oldható meg:

$$RC_\Sigma = T \sum_{i=2}^6 \frac{rc_i P_i}{\tau_i} \quad , \quad (5)$$

illetve

$$WE_\Sigma = T \sum_{i=2}^6 \frac{we_i P_i}{\tau_i} \quad , \quad (6)$$

ahol:

- $rc_i$  –  $i$ -edik javítás költsége;
- $we_i$  –  $i$ -edik javítás munkaigénye.

Példánkban 10 000 órával számolva a javítási költség: 7405,1 Euro, illetve a munkaigény: 586,05 munkaóra.

### SZAKÉRTŐI VÉLEMÉNYEK ELEMZÉSE

A karbantartási szakértők véleményének felmérésére a páros összehasonlítás módszerét választottuk, melynek módszertana részletesen Kavas [2] munkájából ismerhető meg. A felmérés elvégzéséhez egy kérdőívet készítettünk, melyet eljuttattunk különböző területen dolgozó karbantartó szakemberekhez [1].

Az ön szervezete melyik alábbi kategóriába sorolható? \*

termelő vállalat

villamos erőmű

vasúti közlekedés

légi közlekedés

közúti (városi) közlekedés

Az alábbi két szempont közül melyiket tartja fontosabbnak a karbantartás-javítás hatékonyságának megítélése szempontjából? \*

az eszköz (üzemképes) rendelkezésre állása

karbantartási, javítási költség

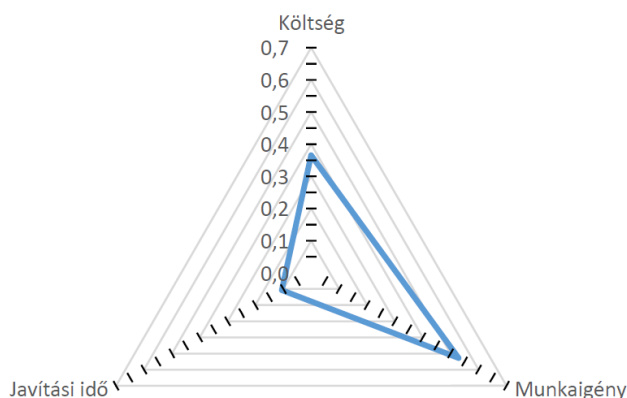
2. ábra A kérdőív részlete

A kérdőív első kérdése a szakemberek szakterületenkénti csoportosításához szükséges. A többi kérdése tulajdonképpen ugyanazt az egy, a véleménynyilvánítás rangsorolását lehetővé tevő kérdést tettük fel. A rangsorolandó szempontok az alábbiak voltak:

- az eszköz (üzemképes) rendelkezésre állása:  $F_1$ ;
- karbantartási, javítási költség:  $F_2$ ;
- karbantartási, javítási (munkaórában kifejezett) munkaigény:  $F_3$ ;
- karbantartási, javítási (naptári) időigény:  $F_4$ .

Jelen tanulmányban csak az erőművi karbantartók és a katonai repülőtechnikát üzemeltetők válaszait értékeljük. A további elemzéshez csak a javítási költség, valamint javítási munkaigény súlyszámait alkalmazzuk.

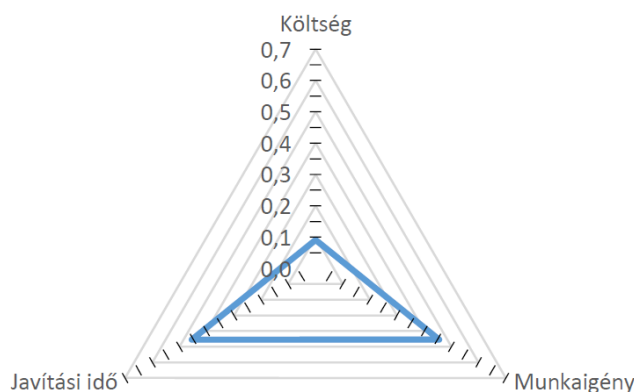
Az erőművekben dolgozó karbantartó szakember számára a munkaórában kifejezett munkaigény a leginkább preferált karbantartási, javítási szempont. Ezeknek a szakembereknek a második legfontosabb célja is az, hogy a javítási költségeket optimalizálhassák, minél alacsonyabb szinten tarthassák. Az itt dolgozó döntéshozók a beérkezett szavazatok alapján a javítás időkiadására a legkevésbé érzékenyek.



3. ábra A szempontok fontosságának normált  $NWV_i$  súlyértékei erőművek esetén

	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$a$	$a^2$	$p$	$u$	$z$	$S$	$NWV$
F2	0	8	10	18	324	0,5196	0,0492	61,543	0,3462	0,3659
F3	9	0	14	23	529	0,6176	0,2993	100	0,5	0,5284
F4	7	3	0	10	100	0,3627	-0,3511	0	0,1	0,1057
$\Sigma$	16	11	24	51	953	–	–	–	0,9462	1

3. táblázat Kitöltött preferencia táblázat erőművek esetén



4. ábra A szempontok fontosságának normált  $NWV_i$  súlyértékei katonai repülőtechnika esetén

	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$a$	$a^2$	$p$	$u$	$z$	$S$	$NWV$
$F_2$	0	1	2	3	9	0,367	-0,341	0	0,1	0,0909
$F_3$	4	0	2	6	36	0,567	0,168	100	0,5	0,4545
$F_4$	3	3	0	6	36	0,567	0,168	100	0,5	0,4545
$\Sigma$	7	4	4	15	81	–	–	–	1,1	1

4. táblázat Kitöltött preferencia táblázat katonai repülőtechnika esetén

Az előző területhez képest jelentősen eltérő mutatók születtek a katonai repülés területén. Elmondható, hogy számukra a munkaigény mellett hasonlóan releváns a karbantartás, javítás minél rövidebb idő alatt történő elvégzése. Ez a két szempont a repülés bármely területén dolgozó szakembernek és döntéshozóiknak kiemelkedően fontos, míg a rájuk szánt költségeket kevésbé relevánsnak jelölték meg, ezt mutatja, hogy ez utóbbi súlyozott értéke ötödét teszi ki az előző két szempontnak.



## SÚLYOZOTT ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLAT

A 2. fejezetben felállított sztochasztikus matematikai modell felhasználható a vizsgált üzemeltetési rendszer szimulációs érzékenységvizsgálatának elvégzésére. A felállított matematikai modell alkalmazásával – a (4)–(6) egyenletek megoldásával – meghatározható, hogy miként fognak változni a vizsgált üzemeltetési rendszer kimenő jellemzői.

Következő lépésként meghatároztuk a modellezett meghibásodások közti átlag idő (*MTBF*) változás úgynevezett

$$FV_i = \sqrt{\Delta WE^2 + \Delta RC^2} \quad (10)$$

Fitness Értékét (Fitness Values – *FV*). Ezen értékek szerepelnek az 5. táblázat „Alap” című résztáblázatában.

Következő lépésként figyelembe vesszük a különböző karbantartási szakemberek véleményét a 3., illetve 4. táblázatokban szereplő  $NWV_i$  normalizált súlyértékekkel határozzuk meg a Súlyozott Fitness értéket (*Weighted Fitness Value* – *WFV*)

$$WFV_i = \sqrt{(NWV_{WE} \Delta WE)^2 + (NWV_{RC} \Delta RC)^2} \quad (11)$$

Az 5. táblázat tartalmazza a Fitness Értékeket. A 6. táblázat a Súlyozott Fitness Értékek sorrendjét szemlélteti.

	A	B	C	D	E
Alap					
$RC_i$	-0,690	-0,967	-0,454	-1,226	-1,302
$WE_i$	-0,826	-1,222	-0,309	-1,155	-1,126
$FV_i$	1,0762	1,5580	0,5489	1,6847	1,7213
Erőmű					
$NWV_{RC} \cdot RC_i$	-0,252	-0,354	-0,166	-0,449	-0,476
$NWV_{WE} \cdot WE_i$	-0,436	-0,646	-0,163	-0,610	-0,595
$WFV_i$	0,5042	0,7361	0,2328	0,7576	0,7622
Katonai repülés					
$NWV_{RC} \cdot RC_i$	-0,063	-0,088	-0,041	-0,111	-0,118
$NWV_{WE} \cdot WE_i$	-0,375	-0,555	-0,140	-0,525	-0,512
$WFV_i$	0,3806	0,5622	0,1463	0,5367	0,5254

5. táblázat Súlyozott Fitness Értékek meghatározása

	Alap		Erőmű		Katonai repülés	
1.	E	1,7213395	E	0,7622427	B	0,5621757
2.	D	1,6846523	D	0,7575614	D	0,5367392
3.	B	1,5580265	B	0,7361362	E	0,5253583
4.	A	1,0762175	A	0,5041713	A	0,3805629
5.	C	0,5488791	C	0,2328021	C	0,1463063

6. táblázat Súlyozott Fitness Értékek rangsorolása

Az érzékenységvizsgálat eredményei alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

→ az súlyozatlan Fitness Értékek fontossági sorrendje **E; D; B; A; C;**

- az erőműi karbantartó szakemberek véleménye alapján is a vizsgált folyamat legérzékenyebb az **E** típusú meghibásodás meghibásodások közti üzemidejére;
- a katonai repülőműszaki szakemberek véleménye szerint a vizsgált folyamat legérzékenyebb a **B** típusú meghibásodás meghibásodások közti üzemidejére;
- mindkét szakembercsoport szerint a második legfontosabb meghibásodás a **D** típusú;
- helyes döntésnek bizonyult, hogy a nem szignifikáns meghibásodásokat a modellalkotás során egy (**C** típusú) meghibásodásként kezeltük.

### ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen tanulmányban a karbantartó szakemberek véleményének összehasonlító elemzése, illetve a vizsgált folyamat matematikai modellje alapján az üzemeltetési rendszerek súlyozott szimulációs érzékenységvizsgálatát dolgoztuk ki.

Miért lehet ez fontos számunkra?

Például, egy új javítási technológia esetén nem mindegy a két terület karbantartói számára, hogy a javítási munkaigény vagy a költség lesz kevesebb. Adott esetben, a több lehetséges javítási technológia, vagy javítási munka-szervezés közül a szakterületek igénye alapján más és más lesz az optimális választás.

Más megfogalmazásban, elemzésünkkel azt szemléltettük, hogy a bemutatott két szakterület számára a vizsgált rendszer szakma-specifikus karbantartási szempontú optimálása eltérő, amit a döntéshozóknak figyelembe kell venni..

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Ágoston Gábor, Pokorádi László: A XXII. Fialat Műszakiak Tudományos Ülészak előadásai, Kolozsvár, (2017) pp. 59-62. , 4 p.
- [2] Kavas László: A súlyszámok problematikája komplex rendszerek értékelése során, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2007/1, p. 7.
- [3] Pokorádi László: Simulation-based Sensitivity Analysis of Manufacturing Equipment Availability, Polytechnica University of Bucharest. Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering, 78/2, pp. 67–78.
- [4] Pokorádi László, Gáti József - Fenyvesi Csaba - Ágoston Gábor: Comparison of Maintenance Experts' Opinions, Proceedings of the SISY 2017, Újvidék pp. 203–206. DOI: <https://doi.org/10.1109/SISY.2017.8080553>
- [5] Pokorádi László: Karbantartási folyamatok szimulációs elemzési módszerei, Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016, Miskolc, pp. 519-536.
- [6] Pokorádi, László - Ágoston, Gábor Közlekedési karbantartó szakemberek véleményeinek összehasonlítása, IFFK 2017 Budapest, pp. 128-132.
- [7] Pokorádi, László, Gáti, József: Markovian Model-based Sensitivity Analysis of Maintenance System, SISY 2018, Újvidék pp. 117-121. DOI: <https://doi.org/10.1109/SISY.2018.8524692>

---

## WEIGHTED SENSITIVITY ANALYSIS OF MAINTENANCE PROCESS

*One of the most important “task” of technical management’s decision making is showing scale of values of given part of engineering. It plays a decisive role in the decision of maintenance management. The subjective opinions of experts can be characterized by different weight numbers. This paper shows the weighted sensitivity analysis of maintenance processes.*

**Keywords:** *maintenance; sensitivity analysis; decision making*

---

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

László Pokorádi Dr. (CSc)  
Full professor  
Óbuda University,  
Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering  
[pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu](mailto:pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu)  
[orcid.org/0000-0003-2857-1887](https://orcid.org/0000-0003-2857-1887)

---

A kutatást a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával megvalósuló EFOP-3.6.2-16-2017- 00016: „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában” projekt támogatta.



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/262/30>



Schuster György

## SZOFTVERTERVEZÉS

DOI: 10.32560/rk.2019.1.2

*A szoftver fejlesztés rendkívül összetett, bonyolult folyamat, továbbá köszönhetően a termékek rendkívüli bonyolultságának a tesztelés semmilyen szinten nem lehet teljes. A kívánt minőség a fejlesztés folyamatának szabályozásában és ennek szigorú követésében rejlik. Ennek a folyamatnak az egyik legfontosabb lépés a tervezés. A tervezés minden biztonságkritikus esetben egy szabvány és szabályrendszer alapján történik. Ez repülés szempontjából kritikus szoftver fejlesztésnél a DO-178C szabvány, amely a teljes szoftverfolyamatot felöleli. A cikk a legfontosabb tervekkel és azok jelentőségével foglalkozik mindvégig szem előtt tartva a biztonságkritikus fejlesztés szempontjait.*

**Kulcsszavak:** szoftvertervezés, biztonságkritikus rendszerek

## BEVEZETÉS

„Ha nem tervezel, akkor a kudarcot tervezed” [2] ez az idézet tökéletesen kifejezi a szoftvertervezés fontosságát. Maga a tervezés is egy folyamat, amely lépésről lépésre biztosítja, hogy a fejlesztők az adott eljárásoknak megfelelően állítsák elő a kérdéses terméket. A tervezés során nem csak a konkrét szoftver elemekre kell kitérni, hanem az életciklusnak és az adott fejlesztési modellnek megfelelően a kapcsolódó további szinteket is figyelembe kell venni.

Biztonságkritikus szoftverek tervezése az alkalmazott szabvány szerinti tervezési folyamatot, a feladatnak megfelelő és a kapcsolódó projekt terveknek a kidolgozását foglalja magában.

A szabványnak megfelelés és általában a fejlesztési minőségbiztosítás megköveteli, hogy a tervek folyamatosan és maradéktalanul dokumentálják. Ha a tervek az alkalmazott szabvány céljainak elérése szerint készítik, akkor ezen elvek követése biztosítja a célok elérést. A tanúsító szervezet a termék megfelelőségét alapvetően a tervek minőségére és teljességére alapozva adja ki, természetesen a tesztelési és használati mérési eredményeket is figyelembe véve.

## ÁLTALÁNOS TERVEZÉSI SZEMPONTOK

A szoftver tervezésénél az alábbi szempontokat célszerű betartani [2]:

1. gondoskodni kell arról, hogy minden kitűzött cél és járulékos célkitűzés le legyen fedve. Ilyenkor célszerű a kiválasztott szabvány előírásai és a célok közötti megfeleltetés elkészítése;
2. a tervek oly módon kell elkészíteni, hogy a projektben résztvevő összes csapat (kód készítők, teszterek, minőség irányító stb.) számára érthető legyen;
3. ki, mikor és hogyan. Ez nem okvetlenül időterv, hanem egymásra épülés;
4. a tervezés lehetőleg előzze meg a megvalósítás lépéseit, mert ellenkező esetben nehezen módosíthatók az esetlegesen nem pontosan teljesített célkitűzések;

5. a tervek legyenek minden aspektusukban következetesek. A belső ellentmondásokat fel kell oldani a lehető legnagyobb mértékben;
6. meg kell határozni a tervek egymás közötti kapcsolódási és átmeneti kritériumait, amit a tervezés során be kell tartani;
7. ha több szoftvert is tervezünk segítséget nyújthat egy – akár vállalati szintű – egységes tervezési sablon;
8. a tanúsítókat a tervezési fázis korai szakaszában célszerű bevonni (figyelembe véve a függetlenség elvét);
9. a menedzsmenetet be kell vonni a projekt tervezési szakaszában. Egy támogató menedzsmenet elősegítheti a projekt sikerét [4];
10. a terveknek megfelelően részleteseknek kell lenniük. A terveknek azonosítaniuk és össze kell foglalniuk az eljárásokat, de az eljárásoknak nem kell teljes részletességben szerepelniük. Azonban szükséges az adott eljárások fontosságának kiemelése;
11. a tanúsító hatóságot informálni célszerű a terv benyújtása előtt a kérdéses projektről (de a pártatlanság biztosítása fontos);
12. a terv részeinek szétosztásánál a végrehajtó csapatoknak pontosan érteniük kell, az adott fázis tartalmát és helyét a teljes projektben;
13. a terv legyen kellően rugalmas, ha szükséges legyen változtatható, de ez ne jelentse azt, hogy a terv nem kellően részletes vagy mély;
14. A tanúsítás során előforduló változtatási igényekre is célszerű felkészíteni a terveket. A változtatásokat szintén tanúsítani kell.

A fenti szempontok mellett öt szoftverrel kapcsolatos terv elkészítése szükséges a projekt megvalósítása szempontjából [2].

## A TERVEK

### A szoftver tanúsítási terv

A szoftver tanúsítási terv egy olyan terv, amit a minősítő hatóság mindenképpen megvizsgál. Ezért – látszólag – legjobb megoldás, hogy ez a terv a lehető legkorábban elkészüljön azért, hogy a minősítést végző személyek időben megkaphassák [2].

Azonban azt tény is célszerű szem előtt tartani, hogy nagyon sok esetben a leg gondosabb tervezés esetén is előfordulhat, hogy lesznek olyan folyamatok, amelyek a korai szakaszban nem derülnek ki, vagy emberi hibából, vagy egyszerűen azért, mert nem voltak előre láthatók. Ilyenkor előfordulhat, hogy az egész anyagot át kell dolgozni, ami időbeli, anyagi problémákat jelent.

A tanúsítási terv egy magas szintű leírást ad a projektről és kellő részletességgel elmagyarázza, hogyan teljesülnek a célkitűzések és a magvalósítás, illetve a célkitűzés hogyan teljesíti a szabvány előírásait.

Ez a terv az a dokumentum, amelyet a minősítő hatóságnak biztosan be kell nyújtani és többi négy további terv összefoglalását is tartalmazza. Természetesen ez nem jelenti azt, hogy az alábbiakban ismertetett tervek minden részletét tartalmaznia kell, de ezekről pontos és következetes összefoglalót kell adnia [2][3].

Ideális esetben a tanúsítási terv elég részletesen taglalja a folyamatokat. Ezáltal a tanúsító hatóság megértheti a folyamatokat, és pontos értékelést tud adni a megfelelésről.

A tanúsítási tervet világosan, tömören és érthetően kell megírni. Minél világosabb és érthetőbb a dokumentum, annál könnyebb a projektet átlátni és annál valószínűbb a hatóság jóváhagyása.

Milyen elemei vannak a tanúsítási tervnek [3]:

- ütemterv: ez tartalmazza a szoftver fejlesztés és jóváhagyás ütemezését. Célja, hogy elősegítse mind a fejlesztés, mind a jóváhagyás erőforrásainak tervezését. Általában magába foglalja a főbb mérföldköveket, például a tervek elkészülési idejét, a tesztelés megkezdésének idejét,
- egyéb megfontolások: minden fontos információt közöljük a minősítő hatósággal. Kezéljük a meglepetéseket. Olyan dolgokat is ismertetni kell például, hogy egy külső szoftver beszállító milyen kódjait használjuk és nem használt részeket milyen módon deaktiváljuk.

Célszerű a célkitűzéseket és fontos információkat mellékletben közölni.

Nagy figyelmet kell arra is fordítani, hogy a minősítő hatóságban fel se merüljön a gyanú, hogy bármilyen információ elrejtésre került. A pontos és teljességre törekvő magatartás növeli a bizalmat.

### **Szoftverfejlesztési terv**

Ez a terv összefoglalja az összes szoftverfejlesztési lépést, beleértve a követelményeket, a tervezési, kódolási és integrációs fázisokat, továbbá az ellenőrzési és tesztelési eljárásokat a tesztelés minden fázisában.

Ez a terv a fejlesztésben résztvevő szakemberek számára készül, akik végrehajtják a fenti tevékenységeket. A szoftverfejlesztési tervnek kellően részletesnek kell lennie, hogy jó irányt biztosítson a fejlesztési folyamatok végrehajtására, de ne legyen annyira részletes, hogy akadályozza a döntéshozatal és a végrehajtás lépéseit. Gyakorlati tapasztalat, hogy a megfelelő szintet eléggé nehéz „eltalálni”. A terv vagy nagyon felületes, vagy túlságosan részletes [2].

A szoftverfejlesztési tervnek három fő elem leírását kell tartalmaznia:

1. a fejlesztéshez használt szabványok (pl. ISO 61508, vagy DO-178C);
2. a szoftver életciklus modelljének leírását az átmeneti fázisok ismertetésével;
3. a fejlesztési környezet ismertetését (a követelmények kezelésének, a tervezés és a kódolás eszközeinek, valamint a tervezett fordító, linker, tömörítő programok kiválasztását és az alkalmazott hardver platform leírását).

A szabványok meghatározzák azokat a korlátozásokat, amelyek segítenek a fejlesztőknek abban, hogy elkerüljék a biztonsági vagy a szoftver funkcionalitását hátrányosan befolyásoló csapdákat.

A szabványokat és korlátozásokat alkalmazni kell az alkalmazott módszertanra vagy nyelvre (lásd MISRA C-re) [4].

A szoftverfejlesztési tervnek azonosítania kell a szoftver életciklus modelljét. Biztonság szoftverek fejlesztése esetén az életciklus modell nevének azonosítása mellett ajánlott a mo-

dell magyarázata is, mivel sajnos az életciklus modelleknek többféle értelmezése létezik. Az életciklus grafikája és az egyes fázisokra létrehozott adatok hasznosak.

Kerülendők azok az életciklus modellek, amelyek a gyors fejlesztést helyezik előtérbe a módszeresen betartott biztonsági eljárásokkal szemben. További tapasztalat, hogy néhány projekt egy életciklus-modellt azonosít a terveikben, de valójában valamilyen más modellt követ.

A szoftverfejlesztési tervben dokumentálni kell a fázisok közötti átmenetek feltételeit. Ez részletezi az adott fázisok belépési és kilépési feltételeit. Ezeket táblázatos formában célszerű összefoglalni.

A fejlesztői környezet és a további alkalmazott szoftverek definiálásának kérdése is elengedhetetlen követelmény. Egy nagyobb projekten nem egy ember dolgozik, hanem sokszor több tíz – esetleg – több száz is. Ekkor az egységes eszközök és módszerek elengedhetetlenek. Lényeges az is, hogy milyenek a futtatható kód előállításának eszközei, ide értve a szerkesztő, fordító és linker programokat, de nem utolsósorban – ha az engedélyezett – az alkalmazott könyvtári elemek és idegen kódok minősége.

A környezet pontos definiálásának a további nagyon fontos következménye, hogy az eredményezett kódok reprodukálhatók.

### **Szoftver ellenőrzési terv**

A szoftverfejlesztési terv összefoglalót nyújt a követelményekről, a tervezési, kódolási és integrációs előírásokról (például a szakértői értékelésről). A szoftver ellenőrzési terv rendszerint további részleteket ad a felülvizsgálatokról, beleértve a felülvizsgálati folyamat részleteit és fázisait, az ellenőrző listákat, a szükséges résztvevőket. A szoftver ellenőrzési terv adott fázisa a szoftver készültségi szintjétől függ [2].

A szoftver ellenőrzési terv meghatározza és indokolja az ellenőrzést végző csoport összetételét és – ami rendkívül fontos – a fejlesztőktől a függetlenség mértékét. A legtöbb projektnek önálló és független ellenőrző csoportja van. Ez nem okvetlenül szükséges, például a DO-178C szabvány nem követeli meg.

Tapasztalat azonban az, hogy a független ellenőrző csoport alkalmazása célszerű [1][4].

A szoftver és a szoftver projekt ellenőrzési dokumentum (kicsit több, mint a terv) tartalmazza a véleményeket, az elemzéseket és a tesztelési eredményeket.

A szoftver ellenőrzési terv magyarázza a felülvizsgálati folyamatot, beleértve a részletes felülvizsgálati eljárásokat, a felülvizsgálatok fázisainak átmeneti kritériumait, valamint az ellenőrző listákat és fontos sablonokat.

A szabványok gyakran tartalmaznak, vagy hivatkoznak ellenőrző listákat a követelmények, a tervezés és a kód felülvizsgálatához.

Ezek az ellenőrző listák jellemzően olyan elemeket tartalmaznak, amelyek biztosítják a szükséges célok értékelését, beleértve a nyomon követhetőséget, a pontosságot és a következetességet és azt, hogy szabványokban leírt követelmények teljesülnek.



Fontos, hogy a szoftver ellenőrzési tervnek azonosítani kell azokat az eljárásokat és módszereket, amelyek a szoftver megváltoztatása – például javítás - után az újbóli ellenőrzéshez szükségesek.

További fontos kérdés a régebben fejlesztett és minősített szoftver egységek beépítésével kapcsolatos ellenőrzési tevékenységek elírása (pl. megváltozott környezet kérdése és egymásra hatások).

### **Szoftver konfigurációs és kezelési terv**

Ez a terv elmagyarázza, hogyan kezelendő az életciklus alatt képződő adatok konfigurációja a szoftverfejlesztés és az ellenőrzés során. A szoftverkonfiguráció kezelés a tervezési fázisban kezdődik, és az egész szoftver életciklusára kiterjed - egészen a szoftver telepítését, karbantartását és visszavonását követően [2].

A szoftver konfigurációs és kezelési terv elmagyarázza az konfiguráció kezelés eljárásait, eszközeit és módszereit, amelyek a fejlesztéshez és az üzemeltetéshez szükségesek. A egyes tevékenységek röviden a következők [3]:

1. konfiguráció azonosítás: az egyes konfigurációhoz tartozó elemek (beleértve az egyedi forráskódot és a tesztfájlokat) egyedileg azonosíthatóak legyenek. Az egyedi azonosítás jellemzően tartalmazza a dokumentum-, adat-, verzió és alverzió számokat;
2. alapvető jellemzők és nyomon követhetőség: a terv elmagyarázza az alapvető jellemzők létrehozásának és azonosításának módját. Ebbe beleértjük a hivatalosan előírt jellemzőket is a tanúsítás szempontjából;
3. probléma bejelentés: egy új verzió létrehozásához egyértelműen és részleteiben jelenteni kell azt a problémát, amely egy új verzióhoz vezet. Erre a projekt folyamán, vagy vállalati szinten célszerű egy egységes mechanizmust fent tartani;
4. a változások ellenőrzése: elmagyarázza, hogyan szabályozzák az életciklus-adatok változásait annak biztosítása érdekében, hogy a változó-illesztőprogramokat a kérdéses adatelem megváltoztatása előtt hozzák létre és hagyják jóvá. Ez szorosan kapcsolódik a problémabejelentési folyamathoz;
5. a változás felülvizsgálata: ennek a folyamatnak az a célja, hogy biztosítsa, hogy a változtatásokat megfelelően tervezzék, jóváhagyják, dokumentálják, megfelelően végrehajtsák. Ezt általában egy változás-ellenőrző testület felügyeli, amely jóváhagyja a változások végrehajtását, és biztosítja, hogy a módosítás lezárása előtt az ellenőrizhető legyen;
6. konfigurációs állapot dokumentálása: a projekt folyamán folyamatosan figyelni kell a projekt állapotát. Ezt a konfigurációs állapot vizsgálata és dokumentálása folyamatosan követi. Az állapot ismerete és a problémák kezelése elengedhetetlen a minősítési eljárásban;
7. archiválás, kiküldés és visszakövethetőség (konfiguráció kezelés): általában erre vállalati előírások vannak. A tervnek a következő alapvető szempontokat kell figyelembe venni:
  - archiválási kérdések: a terv megadja, hogy mikor, mit és hogyan kell archiválni,
  - az adatok és a kódok kiadási rendje: vannak nyilvános, korlátozott és belső adatok. A terv ezeknek a tárolási, hozzáférési és kiadási rendjét adja meg.
  - a visszakeresés módja: hogyan, ki és mikor milyen adatokat keressen vissza. A terv ezt részletesen ismerteti.
8. szoftver terhelési terv, a terv elmagyarázza a szoftver célrendszerbe töltésének módját;

9. életciklus és környezet ellenőrzése, a fejlesztő csapat tagjai csak az ellenőrzött és előírt életciklus szerint és környezetben dolgozzanak;
10. az életciklus adatainak kezelése.

A beszállítók esetén, beleértve az alvállalkozókat, vagy a felhasznált külső erőforrásokat, a terv kifejti a beszállító hasonló szoftver folyamatait is. A beszállítónak sokszor külön szoftver konfigurációs és kezelési terve van. Vagy a beszállító követheti az a megrendelő tervét. Ha több ilyen tervet alkalmaznak a külső partnerek, akkor azokat konzisztenciájuk és kompatibilitásuk érdekében részleteiben felül kell vizsgálni [2].

### Szoftver minőségbiztosítási terv

A szoftver minőségbiztosítási terv leírja a szoftverminőség csapat tervét arra, hogy szoftver megfeleljen a jóváhagyott terveknek és szabványoknak és célkitűzéseknek. Az szoftver minőségbiztosítási terv magában foglalja a minőségbiztosítási csoport szervezetét az adott fejlesztő cégén belül, és kiemeli a függetlenségüket [2].

Az szoftver minőségbiztosítási terv ismerteti a szoftverminőségi mérnök szerepét is, amely jellemzően a következőket tartalmazza:

- a tervek és szabványok felülvizsgálatát;
- a szakértői értékelést, ennek folyamatában való részvételt annak biztosítására, hogy a szakértői értékelés megfelelő legyen;
- a tervekben meghatározott átmeneti kritériumok érvényesítését;
- a környezet ellenőrzését azért, hogy a fejlesztők és a hitelesítők a megfelelő módon használják a meghatározott eszközöket, beleértve a fordítót, a linkert, a teszteszközöket;
- a tervek betartásának felügyeletét;
- a szoftverek fejlesztést és tesztelést megfigyelésének módját;
- a legfontosabb dokumentumok jóváhagyását;
- részvételt a változáskezelő fórumon.

Az szoftver minőségbiztosítási tervnek meg kell adnia az minőségi-nyilvántartás tárolási módját, beleértve, hogy ki, hol, miképpen tárolja a kérdéses nyilvántartásokat és ezek hogyan érhetők el.

### Fejlesztési szabványok

A fenti öt terv mellett figyelembe kell venni a vonatkozó szabványokat is. Bár a tervek ezekre hivatkoznak, de ennek ellenére célszerű ezeket külön kiemelni. A szabványok vonatkozó szabályokat és korlátozásokat tartalmaznak, amelyek segítik a fejlesztőket a munkájuk megfelelő elvégzésében, továbbá elősegítik azt, hogy elkerüljék azokat a „csapdákat”, amelyek negatív hatással bírnak a biztonságra. Ezek a szabványok a következők [2]:

- szoftverkövetelmények szabványai. Meghatározzák a fejlesztésre szolgáló módszereket, eszközöket, szabályokat és korlátozásokat. Ezek a szabványok inkább felsőbb szintű előírásokat tartalmaznak és jellemzően útmutatást nyújtanak a követelményeket összeállító csapat számára [3];

- szoftvertervezési szabványok. Ezek a szabványok szabályokat és korlátozásokat tartalmaznak, amelyek segítik a fejlesztőket a munkájuk megfelelő elvégzésében. Ez a tervezési és az „alacsonyabb szintű” tevékenység iránymutatása [3];
- szoftver kódolási szabványok. Ezek az előző két szabványhoz hasonlóan útmutatást adnak a kód íróinak. Megmagyarázzák, hogyan kell megfelelően használni az adott nyelvet, korlátozzák a nyelv bizonyos konstrukcióit, amelyeket nem ajánlatos a biztonsági szempontból kritikus tartományban használni, egyértelműsítik az elnevezési szabályokat, megmagyarázzák a globális adatok használatát, valamint segítenek olvasható és karbantartható kódot fejleszteni [3].

### További tervek

- Eszköz minősítési terv. Ha egy fejlesztő eszközt minősíteni kell, akkor ez tervezést igényel. A tervezési információkat szoftverminősítési terv is tartalmazza. Más projekteknél újrahasznosítható eszközök esetében azonban további minősítési tervekre lehet szükség [2];
- Projektmenedzsment terv. Megadja a csapatok és a csapattagok felelősségét, konkrét feladatait, a részletes ütemtervet, az aktuális állapotokat és a mérés eszközeit [2];
- Követelmény kezelési terv. Ezt a tervet a szoftver fejlesztési tervvel együtt fejlesztik ki azért, hogy a dokumentáció, a feladat elosztás és követés megfelelő legyen [2];
- Vizsgálati terv. Ez a terv ismerteti a teszt stratégia részleteit, beleértve a szükséges be rendezéseket, eljárásokat, eszközöket, teszteset elrendezést, a nyomkövetési stratégiát stb. Ez általában része a szoftver ellenőrzési eljárások dokumentumnak, de esetenként lehet különálló terv is. A vizsgálati terv gyakran tartalmazza a teszteléssel kapcsolatos ellenőrző listákat és kritériumokat, amelyekkel a tesztelő-ellenőrző csapat számára biztosítja, hogy képesek legyenek a hivatalos tesztek végrehajtására [2].

## ÖSSZEFOGLALÁS

A szoftver kritikus sikertényező, használata elkerülhetetlen. Kimerítő tesztelése emberi időben lehetetlen, a statisztikai adatok, amelyek a klasszikus műszaki világban rendelkezésre állnak, csak igen korlátozottan alkalmazhatók. Így a klasszikus statisztikai elemzések nem, vagy csak hozzávetőlegesen hajthatók végre.

Biztonságkritikus esetben ezért a hangsúly a „gyártásról” áttevődött a tervezésre. A jelen publikáció azt taglalta, hogy milyen tervekre van szükség és azok mit tartalmaznak [1].

Ez a publikáció csak az alapvető ismeretekkel foglalkozik, konkrét esetekben még számos más terv és tervrészlet szükséges lehet.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Fagan, M. E. (1976). "Design and code inspections to reduce errors in program development". IBM Systems Journal. 15 (3): 182–211 DOI: <https://doi.org/10.1147/sj.153.0182>
- [2] Leanna Rierson DEVELOPING SAFETY-CRITICAL SOFTWARE A Practical Guide for Aviation Software and DO-178C Compliance DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315218168>
- [3] IEC 61508 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems
- [4] Schuster György, Ady László: Biztonságkritikus szoftver fejlesztés, [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018\\_1/2018-1-11-0453\\_Schuster\\_Gyorgy-Ady\\_Laszlo.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018_1/2018-1-11-0453_Schuster_Gyorgy-Ady_Laszlo.pdf)

---

### SOFTWARE PLANNING

*Software development is an extremely complex, and complicated process due to the extraordinary complexity of the products. Considering this testing cannot be complete fully at any level. The desired quality lies in the regulation of the development process and its strict monitoring. Planning is one of the most important steps in this process. Design is always based on a standard and a set of rules in all security-critical cases. It is the DO-178C standard for safety-critical software development that covers the entire software process. This paper deals with the key questions of software development and their main features.*

**Keywords:** *software planning, safety critical*

---

---

Schuster György (PhD)  
docens, főiskolai tanár  
Óbudai Egyetem  
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar  
Műszertechnikai és Automatizálási Intézet  
[schuster.gyorgy@kvk.uni-obuda.hu](mailto:schuster.gyorgy@kvk.uni-obuda.hu)  
[orcid.org/0000-0002-8573-3670](https://orcid.org/0000-0002-8573-3670)

---

György Schuster (PhD)  
associate professor, college professor  
Óbuda University  
Kandó Kálmán Faculty of Electrical Engineering  
Institute of Instrumentation and Automation  
[schuster.gyorgy@kvk.uni-obuda.hu](mailto:schuster.gyorgy@kvk.uni-obuda.hu)  
[orcid.org/0000-0002-8573-3670](https://orcid.org/0000-0002-8573-3670)

---



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/258/31>

Molnár Bernadett

## A REPÜLÉSIRÁNYÍTÓK TELJESÍTŐKÉPESSÉGÉNEK ÉS SZAKMAI ATTITÚDJÉNEK VIZSGÁLATI TAPASZTALATA PSZICHO-FIZIOLÓGIA MÉRÉSI EREDMÉNYEK ALAPJÁN

DOI: 10.32560/rk.2019.1.3

*A légiközlekedés technológiai fejlődése miatt az ember kezd háttérbe szorulni, azonban a repülőesemények<sup>1</sup> jelentős része manapság is humán területre vezethető vissza. Kétségtelen tehát, hogy a nagyobb biztonság eléréséhez az emberi tevékenység folyamatos vizsgálata és a hibázás kialakulásának csökkentése vezet. A hibázás megjelenésének oka legtöbb esetben a munkahelyi stressz helytelen kezelése, vagy annak elmulasztása. A repülésben részt vevő személyeknek a Katonai Repülő Intézetben folyó kutatás által lehetősége van egyéni stressz állapot méréseken részt venni, mellyel átfogó képet kapnak életmódjuk minőségéről és megismerik szervezetük reakcióit a szolgálatban eltöltött idő alatt bekövetkező eseményekre. A cikk a testszenzoros mérési eredmények és a vizsgálatban részt vevők szubjektív véleményének összehasonlító elemzését mutatja be.*

**Kulcsszavak:** emberi tényező, repülésirányítás, teljesítőképeség, stressz állapot, regenerálódás

### BEVEZETÉS

A repülésbiztonság humán aspektusainak vizsgálata a repülés humán tényezőinek integrált alkalmazására fókuszál, melyek a pilóták mellett a pilótánélküli légi járművek kezelőire és a repülésirányítókra is kiterjednek. Egyik meghatározó eleme a katonai repülésirányítók funkcionális állapotának vizsgálata különböző élethelyzetekben. A kutatás magába foglalja az adatgyűjtést és elemzést, új mérési és vizsgálati módszerek tesztelését, valamint a gyakorlati alkalmazás eredményeinek összesítését és a mindennapokban zajló alkalmazási lehetőségének kialakítását [1][2].

A funkcionális állapotvizsgálat egyik részfeladata a repülésirányítók stressz állapotának vizsgálata. A stressz állapot mérésére több vizsgálati módszer is rendelkezésre áll, melynek oka, hogy a stressz emberi szervezetre gyakorolt hatása különböző szinteken jelentkezik, amely az alábbi eljárások segítségével tehető mérhetővé:

1. Az egyik lehetséges módszer a jelentkező tünetek megadott szempontrendszer szerint történő megfigyelése, monitorozása. A módszer hátránya, hogy időigényes és jelentős emberi erőforrást igényel.
2. Egy következő eljárás az úgynevezett „nem beavatkozó” jellegű módszer, amely a stressz hatás következtében létrejövő, a stresszel bizonyítottan összefüggő megbetegedési-, baleseti- vagy hiányzási mutatók elemzését foglalja magában. Az eljárás jó következtetési alapot nyújthat, azonban az egyén stressz állapot méréséhez csak általános adatokkal szolgál.
3. A harmadik potenciális vizsgálati irány az önbevalláson alapuló kérdőíves módszer. Az eljárás során az egyén stressz tüneteinek jelenlétére és annak mértékére kérdeznék rá. A

---

<sup>1</sup> Olyan események, melyek a légiközlekedés biztonságát befolyásolják.

vizsgálat hátránya a szubjektivitás, amelynek következtében az nem ad valós képet az alany állapotáról.

4. Végül, a pontosabb diagnosztika felállításának érdekében alkalmazhatók az eszközvizsgálatos eljárások, melyek pillanatnyi és hosszú távú stressz állapot rögzítésére is alkalmasak [3].

A kutatás során az önbevalláson alapuló kérdőíves módszer és az eszközvizsgálatos módszer alkalmazásával kapott eredményeket dolgoztam fel. Mindez részeredményként szolgál az intézetben folyó kutatási projekt eredményeihez.

### Önbevalláson alapuló kérdőíves módszer

Ez a vizsgálati módszer szubjektív, a vizsgált egyén észlelésén alapul, ezért nem ad valós eredményt, mégis ez az egyik leggyakrabban előforduló módja a stressz állapot mérésnek. A következőkben a kutatási projekt keretein belül előállított kérdőívet mutatom be.

Az általam összeállított kérdőív 21 tételből áll, amely a főbb munkahelyi stresszorok<sup>2</sup> és a fizikai aktivitás jelenlétét méri. Ezek a következők:

- munkakapcsolatok;
- munkakörnyezet;
- elismerés, megbecsülés;
- munkahelyi szerep;
- felelősségvállalás;
- fizikai aktivitás.

A kérdőívben ötfokozatú gyakorisági skálát alkalmaztam, melyek az állítások mellett találhatóak. A teszt alkalmazásának előnye, hogy a későbbiekben bemutatásra kerülő eszközvizsgálatos állapotfelmérés eredményeivel összevethető szubjektív véleményekkel is rendelkezünk.

	Egyáltalán nem értek egyet	Inkább nem értek egyet	Nem mondhatnám	Inkább egyérték	Teljesen egyérték
1. Tisztában vagyok a szolgálati kötelességemmel és felelősségemmel.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
2. Szolgálati tevékenységem során összeszedett vagyok.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
3. Szolgálatban kiegyensúlyozott a kollégák közötti viszony.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
4. Számíthatok a felettesem segítségére, ha problémába ütközöm munkám során.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

1. ábra A stressz állapot felmérő kérdőív részlete

### Eszközvizsgálatos módszer

A pontosabb eredmény érdekében célszerűbb az egyéneket hosszú távú mérési folyamatba bevonni, amelyek megvalósítására a legnagyobb elektronikai fejlesztő cégek olyan hordozható eszközöket alkottak meg, melyek életvitel szerűen monitorozzák a használókat. Például egy

<sup>2</sup> A stresszt előidéző tényezők Selye János magyarázata szerint

okosórába épített pulzusszám mérő vagy lépésszám mérő alkalmazás megőrzi az adatokat a memóriájában és egy trend olvasható ki az alany életmódjában.

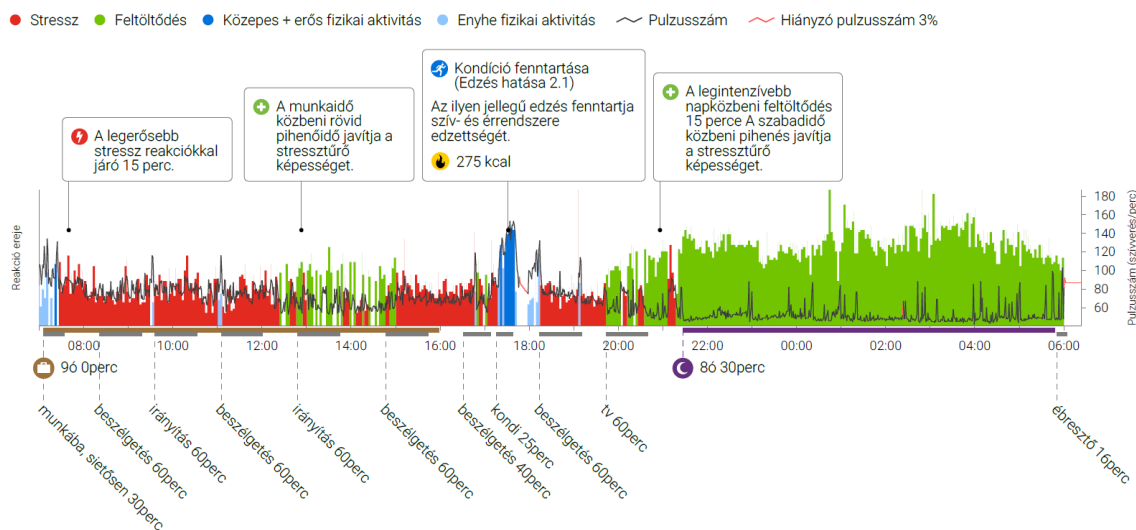
A stressz állapot mérésére kifejlesztett hordozható eszközök között a piacvezető vállalat a finn FirstBeat Technologies, amely közel két évtizede foglalkozik az emberi szervezetre ható terhelések és reakció képességek korrelációjának kutatásával. Az általa létrehozott FirstBeat BodyGuard 2 termék technológiai alapja a szívfrekvencia változékonyság (HRV<sup>3</sup>), azaz a pulzusvariancia mérése.

A korábban említett kutatás lehetővé teszi a repülésirányítók hosszú távú stressz kitettségének vizsgálatát a FirstBeat mérőműszer segítségével.

A készülék használatával a vizsgált személy a következő tényezőkről kap objektív visszajelzést:

- a mindennapi tevékenységek alatti stresszterhelésről;
- a pihenés alatti feltöltődés mértékéről és minőségéről;
- a fizikai aktivitás állapotáról;
- az alvásminőségről;
- és az energiaháztartás egyensúlyáról [4].

A mérést követően a FirstBeat program elkészíti a riportot, amely alapján elemezhetők a felsorolt tényezők. Felismerhetővé válnak a stresszt okozó tevékenységek és helyzetek, és a szakértők megoldást javasolnak az életminőség vagy a munkateljesítmény javítására.



2. ábra Egy, a kutatásban részt vevő repülésirányító 24 órás mérési profilja [5]

## A TELJESÍTŐKÉPESSÉG VIZSGÁLATA

A vizsgálat célja az volt, hogy tanulmányozzam a repülésirányítók szolgálata során adott stressz reakcióinak mértékét és az ezt követő regenerálódás minőségét. A vizsgált személyek közül 18 aktív repülésirányító mérési eredményeit és stressz állapotáról adott szubjektív véleményeit ismertetem. A részt vevők különleges adatainak minősülő egészségügyi jellemzőit a GDPR<sup>4</sup> irányelveknek megfelelően kezeltem.

<sup>3</sup> Heart Rate Variability. Az egyes szívizom összehúzódások között eltelt idő századmásodpercben.

<sup>4</sup> General Data Protection Regulation. Általános Adatvédelmi Rendelet

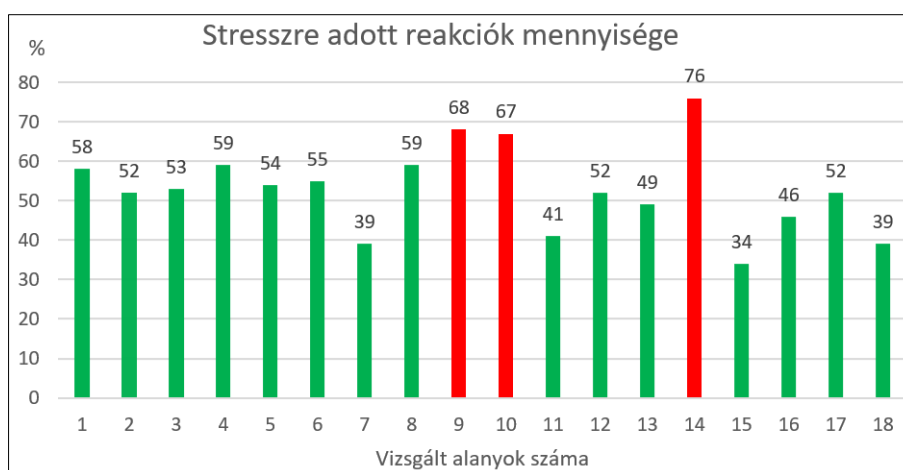
Az egyéni riportokból minden 24 órás mérési periódus végén a következő adatok olvashatók ki:

- Stresszre adott reakciók mennyisége;
- Pihenés mennyisége;
- Stressz és feltöltődés egyensúlya;
- Feltöltődés mennyisége alvás alatt;
- A feltöltődés minősége (pulzusvariancia);
- Alvás regenerációs hatása;
- Fizikai aktivitás;
- és összes energiafogyasztás.

Az egyének felsorolt szempontok szerinti eredményeit egy táblázatban összesítettem, az adatokból csoportos grafikonokat készítettem, melyeket az alábbiakban szemléltetek [5].

### Stresszre adott reakciók mennyisége

A stresszre adott reakciók mennyisége az az adat, amely megmutatja az egyén 24 óra alatti stressz kitettségét százalékos arányban. Ha ez a mutató legfeljebb 60%-os, „normális”, ha meghaladja azt, akkor „a szokásosnál több” a stresszre adott reakciók száma.



3. ábra Stresszre adott reakciók mennyisége (szerkesztette a szerző) [5]

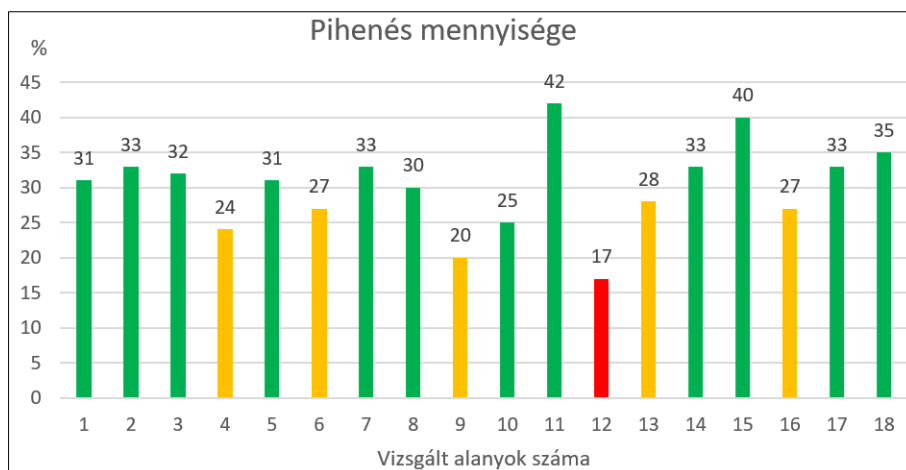
A vizsgált repülésirányítók stresszre adott reakciók mennyiségének átlaga 52,94%, amely csoport szinten a „normális” szintet jelenti. A diagrammból kiolvasható, hogy három alany meghaladta a 60%-os értéket.

Az eredmények összehasonlításához a kérdőívben szereplő állítások közül az „Általában nem érzem magam stresszesnek” állítás bizonyul a legalkalmasabbnak. A kitöltők 28%-a (5 fő) „nem mondhatnám”, 39%-a (7 fő) „inkább egyetértek” és 33%-a (6 fő) „teljesen egyetértek” választ adott. Ennélfogva a repülésirányítók 72%-a nem gondolja, hogy munkája során nagy stressz hatásnak van kitéve. A szubjektív válaszok tükrözik a FirstBeat eszközzel végrehajtott mérési eredményeket, ugyanis csupán három alany haladta meg a 60%-os értéket. [5]

### Pihenés mennyisége

A pihenés mennyisége azt mutatja meg, hogy a vizsgált személy a mérési időszak során hány százalékot töltött pihenéssel. Ha a kimutatott mennyiség 20% alatti, akkor „gyenge”, ha 20% és 29% közötti, akkor „közepes”, és ha meghaladja a 30%-ot, akkor „jó” értékelést kapott az alany.





4. ábra Pihenés mennyisége (szerkesztette a szerző) [5]

A pihenés mennyiségét ábrázoló diagrammon látható, hogy tizenkét repülésirányító elegendő mennyiségű pihenéssel zárta a vizsgált napot, és három alany 20% és 29% közötti értéket produkált. A csoport átlaga 30,05%, ami eléri a „jó” értékelés alsó szintjét.

Ennek az adatnak a kimutatására a legmegfelelőbb állítás: „A napjaim (szolgálatban) többnyire tartalmaznak olyan szüneteket, amelyekben kissé kipihenhetem magam”. A kitöltők válasza a következők voltak:

- 6% (1 fő) „inkább nem értek egyet”;
- 28% (5 fő) „nem mondhatnám”;
- 39% (7 fő) „inkább egyetértek”;
- 28% (5 fő) „teljesen egyetértek”.

A korábbi eszközvizsgálatos mérési eredmények nagy szórását a repülésirányítók szubjektív véleménye is megerősíti. A válaszok alapján a vizsgált csoport többségének, 67%-nak lehetősége van napközbeni pihenőket beiktatni munkavégzés során. [5]

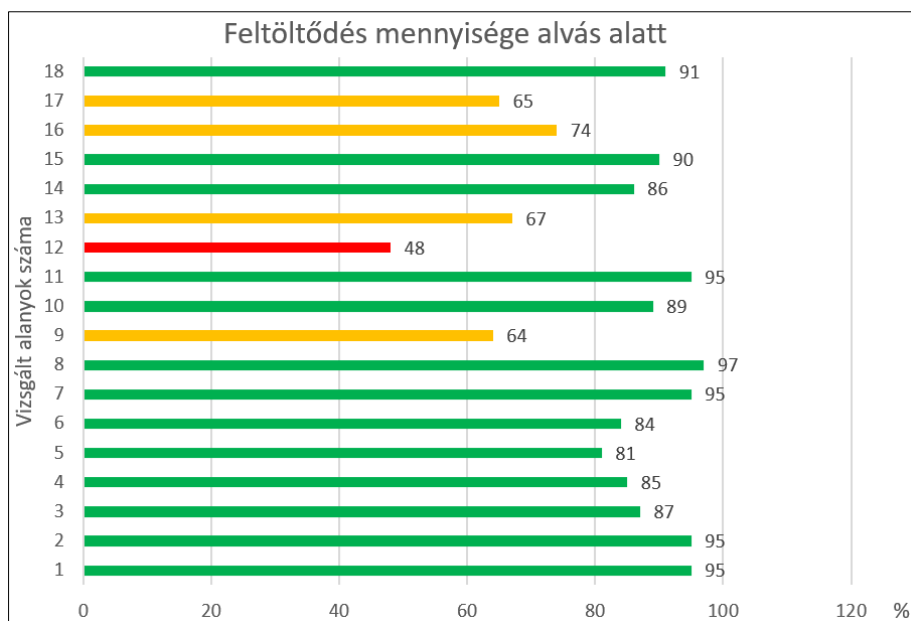
### Feltöltődés mennyisége alvás alatt

Ez az érték megmutatja, hogy az alany alvási időszakának hány százalékát töltötte tényleges feltöltődéssel. A program kiértékelése szerint itt is három kategóriába kell az eredményeket sorolni:

- kevesebb, mint 50% gyenge;
- 50% és 74% között közepes;
- 75% felett jó a feltöltődés szintje.

A csoport alvás alatti feltöltődésének átlaga 82,66%, amely „jó” értéknek számít. Tizenkét alany ért el a csoport átlagánál magasabb regenerálódási szintet.

A kitöltők számára az „Úgy érzem, hogy eleget alszom” állítás bizonyult a legmegosztóbbnak. 6% egyáltalán nem ért egyet, 11% inkább nem ért egyet, 33% nem mondhatná, 44% inkább egyetért és csupán 6% ért egyet teljes mértékben azzal, hogy a 24 óra során eleget alszik. A kérdőív alapján a csoport 17%-a úgy gondolja, hogy nem elegendő az éjszakai feltöltődésének mennyisége, 33%-a gondolja közepes szintűnek és 50%-a tapasztalja megfelelőnek a feltöltődését. A szubjektív véleményekkel ellentétben a testszenzoros mérési eredmények kimutatták, hogy a vizsgált repülésirányítók 72%-ának „jó” a feltöltődés mennyisége alvás alatt [5].

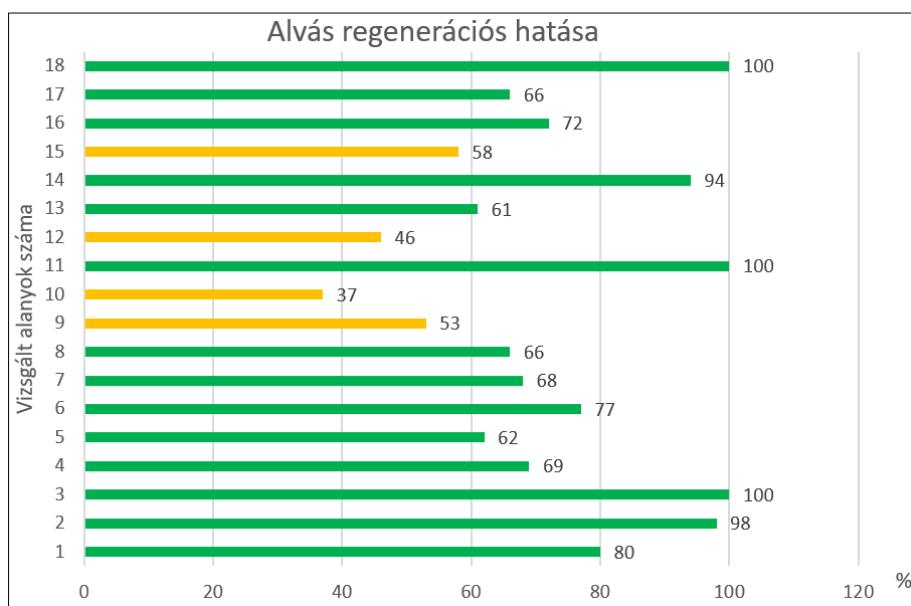


5. ábra Feltöltődés mennyisége alvás alatt (szerkesztette a szerző) [5]

### Alvás regenerációs hatása

Az alvás regenerációs hatása az alvás időtartamától, valamint az alvás alatti pihenés mennyiségétől és minőségétől függ. Az egyik legfontosabb mutató, hiszen ebből derül ki, hogy a szervezet mennyire képes feltöltődni a napközbeni stressz kitétség után, illetve, hogy milyen mértékben tud visszatöltődni a következő napi stressz előtt.

A grafikonon tökéletesen illusztrálja, hogy a vizsgálati csoportban három fő is képes volt a 100%-os regenerálódásra, a 2. számú alany pedig közel tökéletes, 98%-os eredményt ért el. Négy repülésirányítót jellemez 30% és 59% közötti érték, amely „közepes” regenerálódási képességet jelent. Megfigyelhető, hogy egyik alany sem került 29%-os érték alá, ami a „gyenge” regenerációt jelentené.



6. ábra Alvás regenerációs hatása (szerkesztette a szerző) [5]

Ez a mutató az „Általában kipihentnek és energikusnak érzem magam” állítással vonható párhuzamba. A válaszadók 39%-a (7 fő) nem mondhatná, 50%-a (9 fő) inkább egyetért és 11%-a (2 fő) teljes mértékben egyetért azzal, hogy kipihent és energikus. Látható, hogy erre az állításra adott válaszok szintén egybevágóan a FirstBeat eszközzel mért objektív eredményekkel [5].

## ÖSSZEGRZÉS

Tanulmányomban a repülésirányítók stressz állapotának vizsgálati tapasztalatát átfogó és komplex módon mutattam be két módszer alkalmazásával. A vizsgálat célja az volt, hogy tanulmányozzam a repülésirányítók szolgálata során kialakult stressz és regenerálódás egyensúlyát, valamint, hogy megismerjem a vizsgált személyek szubjektív véleményét saját stressz állapotukról.

A kutatás során világossá vált számomra, hogy a mérési eredmények és a kérdőív egyes állításaira adott válaszok többnyire egybevágóan, azaz a vizsgált repülésirányítók hasonlóan vélekednek saját stressz állapotukról, mint amit objektív módon a testszenzor mutatott ki a mérések alkalmával.

A humán tényező nemcsak a repülési rendszer egészének része, hanem a repülésbiztonság egyik alapvető eleme is. A repülésben részt vevő személyek, így a repülésirányítók célja a maximális teljesítményre való törekvés a repülőesemények elkerülésének érdekében, amely a repülésbiztonság alapvető feladata.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] repulestudomany.hu, „Aviation Human kiemelt kutatási terület” [Online]. Elérhető: [http://kutas.repulestudomany.hu/elemek/aviation\\_human.html](http://kutas.repulestudomany.hu/elemek/aviation_human.html)
- [2] Bottyán Zsolt - Dunai Pál - Fekete Csaba - Gajdos Máté - Palik Mátyás - Sági Lajos - Vas Tímea: A repülésirányítás alapjai. Nemzeti Közzolgálati Egyetem. Nordex Nonprofit Kft. – Dialóg Campus Kiadó. 2016. ISBN 978-615-5889-44-8
- [3] ommf.gov.hu, „Útmutató a munkahelyi stressz kezeléséhez munkavédelmi szakemberek részére”. [www.ommf.gov.hu/letoltes.php?d\\_id=5577](http://www.ommf.gov.hu/letoltes.php?d_id=5577). Letöltés: 2018.10.13.
- [4] fusionvital.hu, „Életmód felmérés” [Online]. Elérhető: <http://fusionvital.hu/megoldasaink/fusion-vital/>.
- [5] Molnár Bernadett: Stressz management lehetősége az állapotvizsgálat korszerű módszereivel a repülésirányítás területén és ennek jelentősége a repülésbiztonság növelésében. Szakdolgozat. 2019. Nemzeti Közzolgálati Egyetem

---

### **THE RESEARCH EXPERIENCE OF MILITARY AEROSPACE CONTROLLERS' PERFORMANCE AND PROFESSIONAL ATTITUDE BASED ON PSYCHO-PHYSIOLOGY MEASUREMENT RESULTS**

*Over the last decades the technology uses in aviation has grown at an exceptionally high rate, resulting that more and more functions have being taken over by machines, but the presence of humans is still the most common cause of an aircraft incident nowadays. For reaching a higher safety the most important factors are the continuous investigation of human activity and the reducing of human error. For the persons involved in aviation have the opportunity to take part in stress status measurements within the research project in Institution of Military Aviation, to get a complex picture of the quality of their lifestyle and to get to know their reactions of events during their duty. In the paper a comparative analysis of body sensor measurement results and the subjective opinion of the participants are presented.*

**Keywords:** human factor, aerospace controlling, performance, stress status, regeneration

---

---

Molnár Bernadett  
Hallgató  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Repülő Intézet  
Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék  
molnarbernadett1995@gmail.com  
orcid.org/0000-0001-7791-4159

---

Bernadett Molnár  
Student  
National University of Public Service  
Faculty of Military Science and Officer Training  
Institute of Military Aviation  
Department of Aerospace Controller and Pilot Training  
molnarbernadett1995@gmail.com  
orcid.org/0000-0001-7791-4159

---



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/318/32>

Dobi Sándor Gábor, Horváth Krisztina, Rohács Dániel

## DRÓNOK PIACÁHOZ KÖTHETŐ ÜZLETI FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEK ÁTTEKINTÉSE A SZEGMENS AKTUALITÁSAINAK TÜKRÉBEN

DOI: 10.32560/rk.2019.1.4

*Jelen cikk célja egy átfogó kép biztosítása a globális drón szegmensről beleértve a forgalmi menedzsmentjükhöz kapcsolódó rendszereket is. Mind a mai napig él az állítás, hogy az iparág eszközgyártói és technológiai szereplői jóval előrehaladottabb állapotban vannak, mint az ezt szabályozni és szabványosítani kívánó különböző nemzeti és nemzetközi szervezetek. A cikk során bemutatásra kerülnek a drónok piac trendjei, fókuszálva a gyártói oldalra és annak összetétele, legfontosabb szereplőire illetve a gyártott eszközök alapvetői felhasználási szegmenseire. Feltárássra kerülnek a drónipar legnagyobb értékhozzáadási és értékteremtési potenciállal rendelkező területei, majd a levont tapasztalatok alapján egy hazai vonatkozású előrejelzés kerül felvázolásra. A HungaroControl Zrt. az európai és magyarországi érdekeket szem előtt tartva proaktívan dolgozik egy minden igényt kielégítő komplex szolgáltatás kiépítésén, melynek alapjául a cikk tartalmi elemei is szolgálnak.*

**Kulcsszavak:** UTM, UAM, UAV, UAS, U-Space, pilóta nélküli légi jármű

### BEVEZETÉS

A pilóta nélküli légi járművek (továbbiakban UAV<sup>1</sup>) rohamos terjedése számos lehetőséggel és kihívással állítja szembe a különböző érintetteket, legyen szó a léginavigációs szolgáltatókról (továbbiakban ANSP<sup>2</sup>), akik az eszközök biztonságos légtérbeillesztésén dolgoznak vagy a kis- és középvállalkozásokról, akik pedig üzlet céllal szeretnének drónokat felhasználni működésük új alapokra helyezésében. A drónokon alapuló szolgáltatások és a kapcsolódó munkaerő éves értéke évről-évre növekvő tendenciát mutat, mely növekedés Magyarországon is tetten érhető. A drónok folyamatos térnyerése a jelenlegi ember által végzett munkafolyamatok kiváltása mellett teljesen új területek megjelenését is eredményezi, amelyek jelentős hozzáadott értékte-remtési potenciállal bírnak. Ennek a kiaknázásához azonban számos területen további fejlődésre van szükség, elég csak az egyre szűkösebb akkumulátoralapanyagnak számító lítiumra gondolni, de szabványosítási, jogalkotási és forgalmi menedzsment oldalon is jelentős az elmaradás a felhasználói igényekkel és felhasználási lehetőségek robbanásszerű terjedésével szemben. A jelentős lehetőségekkel rendelkező területeket, mint például mezőgazdaság, infrastruktúra, erdőgazdálkodás, szállítmányozás, objektumvédelem tevékenységét és lehetőségeit nagyban befolyásolja a jelenleg számos ponton hézagos, nem megértett és átlátott, sőt egyes esetekben akár nem is létező működést támogató környezet, keretrendszer. Egy komplett, minden igényt kielégítő ökoszisztéma kialakításához számos elvárásnak kell megfelelni, melyek minden érintett szereplőtől egyirányba mutató hozzáállást és elköteleződést vár el. Ezeknek a sze-

---

<sup>1</sup> UAV – Unmanned Aircraft/Aerial Vehicle

<sup>2</sup> ANSP – Air Navigation Service Provider

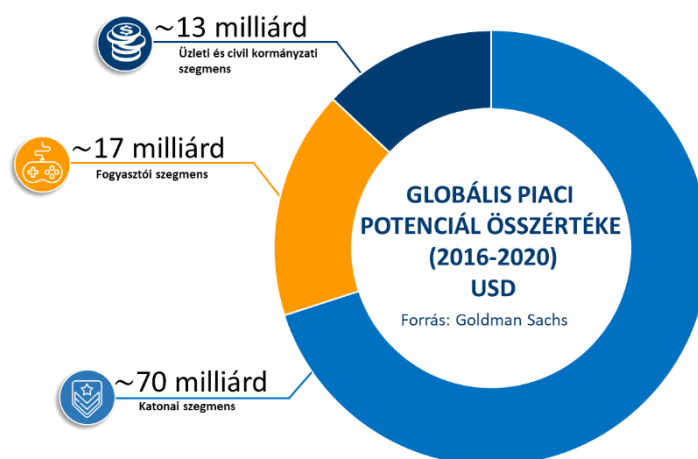
replőknek egy olyan megengedő keretrendszer kidolgozása kell, hogy célja legyen, ami elősegítője és nem pedig gátlójává váljon ezen iparági törekvések harmonizációjának. A cikkben feltárásra kerülnek a drónok és forgalmi menedzsmentjükhez kapcsolódó legmeghatározóbb felhasználási lehetőségek és nehezítő tényezők nemzetközi szinten, majd a levont tapasztalatok alapján hazai vonatkozású forgalmi becslés, előrejelzés felvázolása a cél.

## GLOBALIS DRÓN ÉS UTM PIACI ELŐREJELZÉSEK, TRENDEK

Számos piaci elemző cég adatait megvizsgálva kijelenthető, hogy pilóta nélküli légitársaságokkal és forgalmi menedzsmentjükkel foglalkozó szolgáltatások iránt mutatkozó igény folyamatosan növekszik. A továbbiakban a drónok gyártói piaca kerül röviden górcső alá, melyet a nemzetközi harmonizációt megcélzó menedzsment rendszerek fognak követni.

### Drónok piacának alakulása

A RolandBerger állítása szerint a globálisan a kereskedelmi forgalomban lévő drónok piaca 2017-ben elérte a 3,1 milliárd Eurót, ez több mint 3 millió eladott példányszámban manifesztálódott. Ezek az értékek 2022-re akár 12,6 milliárd Euróra és 15 millió értékesített eszközre rúghatnak. A Business Insider Intelligence egy korábbi elemzése szerint a fogyasztói piacon (hobby, kereskedelmi, katonai felhasználók) ugyanebben az évben 10 millió egységre becsülték az eladott eszközök számát. A robbanás mögötti okot a megállíthatatlannak tűnő rekreációs, kereskedelmi és kutatási felhasználások szentháromsága adja. A közcélú felhasználások önmagukban nagy valószínűséggel a megfelelő ösztönzők segítségével tovább katalizálják a növekedést, ahogy ez már bekevert példaként a mobiltelekommunikációs és gépjármű piacokon, vagyis ahogy egyre több drón fog megjelenni a mindennapjaink részeként az egyre nagyobb emberréteg számára láthatóvá fogja tenni az eszközök hasznosságát. A növekvő eladások új technológiai megoldásokat, ötleteket eredményeznek, miközben a huzamosabb ideje megvásárolható termékek ára folyamatosan csökkenni fog, ami még szélesebb körben teszi elérhetővé majd azokat [1][2].

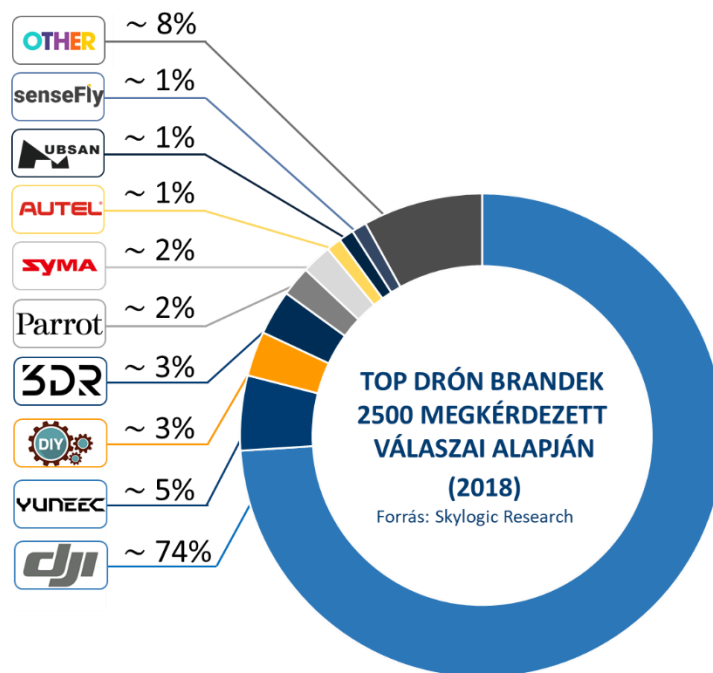


1. ábra Globális piaci potenciál összértéke 2016-2020 között [3]

Egy másik méltán híres elemző cég a Goldman Sachs Research információi alapján 2016 és 2020 között a drónok által generált globális piac 100 milliárd dolláros értékteremtési potenciállal bír, mely összeg három fő területre koncentrálódik, mégpedig a katonai (70%), fogyasztói

(17%) és üzleti és civil kormányzati (13%) szegmensre. Az 1. ábra tortadiagramon szemlélteti a területek közötti eloszlást [3].

Számos technológiai vívmányhoz (pl. konzerv, radar, GPS<sup>3</sup>) hasonlóan a drónok megjelenését is a katonasági felhasználás indította útjára. A globális érdekeket figyelembe véve még sokáig elsődleges piacként fogunk a védelmi szegmensre tekinteni, ami a technológia további fejlődését fogja alapjaiban meghatározni. A katonai felhasználás után a fogyasztói rétegben kezdtek el az eszközök fokozatosan terjedni és az elkövetkezendő években robbanásszerűen tovább emelkedni. 2020-ra a Goldman Sachs Research 7,8 millió eladott drónt jósol világszerte 3,3 milliárd dolláros jövedelemmel, szemben a 2014-es 450 ezres darabszámmal és 700 milliós bevétellel. A legnagyobb lehetőséggel, ugyanakkor kihívásokkal is gazdagon tarkított felhasználási terület a drónok üzleti célú felhasználása. Általánosságban véve elmondható a robotizációból származtatott fogalom alapján, hogy a drónok minden olyan munkakörnyezet és feladat esetében megoldási lehetőséget jelenthetnek, ahol megfeleltethetők rájuk a 4D kritériumok, vagyis a dull (unalmas), dirty (piszkos), distant (távoli), dangerous (veszélyes). Többek között ezért is tartják ezeket az eszközöket kiválóan alkalmasnak a különböző tulajdonok/vagyontárgyak felügyeletére (pl. közúti infrastruktúra, olajfűró torony) [3][4].

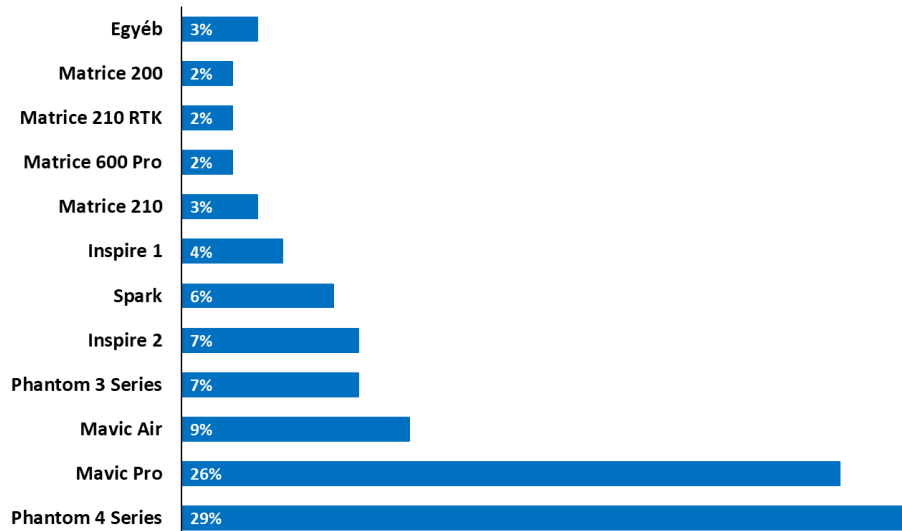


2. ábra Top drón brandek 2018-ban [7]

A kereskedelmi forgalomban kapható drónok piacát jelenleg a DJI uralja a legfrissebb 2018. évi közvélemény kutatási adatok alapján 74%-os részesedéssel. Három fő árkatóriát létrehozva összehasonlításra kerültek a különböző gyártók és termékeik. Az 0–500 dollár közötti eszközök piacán a DJI meglepő módon nem dominál, ami mindösszesen annak tudható be, hogy ebben a kategóriában egyáltalán nem értékesítenek eszközt. A legalacsonyabb árral rendelkező eszközként kikiáltott DJI Spark is 500–600 dollár körüli áron érhető el a különböző értékesítőknél. Csak, hogy néhány említésre kerüljön, a szegmensben olyan gyártók jeleskednek, mint

<sup>3</sup> GPS – Global Positioning System

a Syma, Hubsan, Cheerson vagy az Eachine. 500–1000 dollár között a DJI letarolja a piacot a már említett Spark-kal illetve a Phantom 3-mal, Mavic Pro-val és Mavic Air-rel. A DJI 2017-ben meggyőző 72%-os részesedéssel uralkodtak az Egyesült Államokban mért eladásait figyelembe véve. A francia Parrot és a kínai Yuneec 7–7%-ot kaparintott meg, a többiek (pl. 3D Robotics, GoPro, Xiaomi, eHang) a fennmaradt 14%-on osztozkodtak. A harmadik porcióban, vagyis 1000–2000 dollár közötti kategóriában is a DJI fölényeskedik, ahol már csak az árak és ebből fakadó potenciális bevételek miatti 70%-os részesedése is önmagában jól demonstrálja a gyártó erejét, ahol is a Phantom 4 és legújabb termékünk a 2018-ban bemutatott Mavic 2 Pro a meghatározó név. A 3. ábrán a DJI legnépszerűbbnek kikiáltott termékei láthatók 2018-ból.[1]



3. ábra Legnépszerűbb DJI termékek 2018-ban [7]

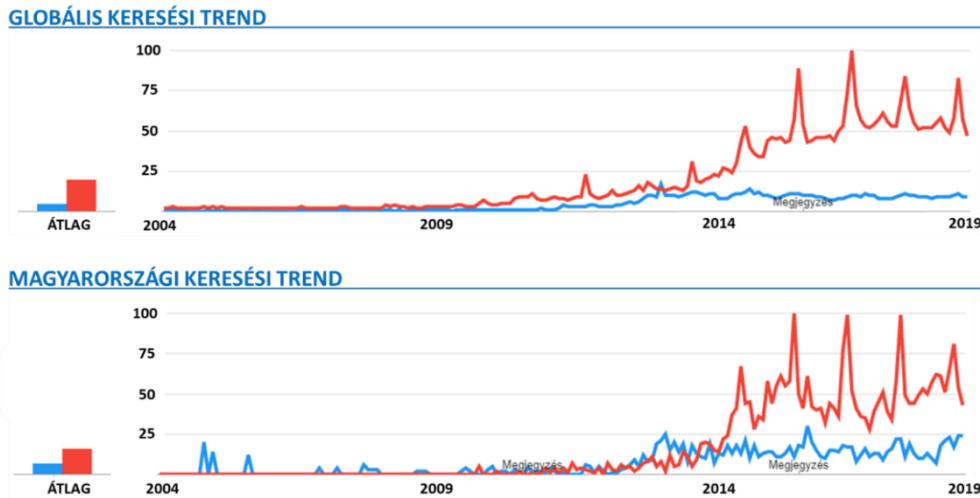
További érdekesség, hogy a Yamaha Motor japánban már az 1980-as években fejlesztett egy egyrotoros UAV-t, az ötlet annyira sikeresnek bizonyult, hogy napjainkban a Japánban termelt rizs egyharmadát ilyen típusú drónokkal permetezik. Számos gyártó érdekelt a piacon a Yamaha mellett, akik elsősorban multirotoros megoldásokkal rendelkeznek, de bizonyos esetekben a VTOL és merevszárnyas eszközök is megtalálhatók. Például ellenőrzési tevékenységre specializált drónokat gyárt az Aero Sense és a Terra Drone, megfigyelésben a DENSO és a Luce Search jeleskedik, szállítmányozásban érdekelt a PRODRONE és ACSL, sőt katasztrófák esetére a Fuji Imvac és a Multicopter Labor tud eszközöket biztosítani.

A Google keresési trendjeire egy pillantást vetve – melyet a 4. ábra szemléltet – elmondható, hogy a drónok egyre nagyobb szerepet töltenek be mindennapjaink részeként, és rengeteg ember foglalkozik velük, kíváncsi rájuk és a hozzájuk kapcsolódó hírekre, fejleményekre. A drón keresési trendek összehasonlításának alapjául, egy, a Gartner (globális elemző, kutató és tanácsadó cég) által is mind a mai napig az egyik legmeghatározóbb technológiai vívmányként számon tartott terület a 3D nyomtatás (továbbiakban 3DP<sup>4</sup>) került kiválasztásra. Látható, hogy a Google keresési trendjei azt mutatják, hogy a hatalmas 3DP örület ellenére sincs annyira köztudatban, mint maguk a drónok és hozzájuk köthető különböző történések. A trendvonalon számos kiugrás figyelhető meg a drónos keresésekben, amelyek rövidebb internetes kereséssel

<sup>4</sup> 3DP – 3 Dimensional Printing



egy-től-egyik tetten érhetők. Például a 2017. évben és 2018-ban a London-Gatwick repülőtéren történt drónesemények kiugrásai is leolvashatók.



4. ábra 3D nyomtatás és Drón keresési trendek összehasonlítása a Google Trends segítségével [15]

A teljes értéklánc gazdasági hatáselemzése feltárta, hogy az európai piac éves potenciálja 2035-re meghaladná a 10 milliárd eurót és tovább növekedne megközelítőleg 15 milliárd euróra 2050-ig. Egy ekkora méretű piac új munkák megjelenését is eredményezi és rövid időn belül 100 000 direkt munkahely (kereskedelmi és állami szektor) jöhet létre a számos további indirekt előny és munkalehetőség mellett, mint például a szoftverfejlesztés, pozitív társadalmi- és szociális externáliák (pl. kutatás-mentés hatékonyság növekedése, mezőgazdasági területek hatékonyabb fenntartása). A különböző OECD<sup>5</sup> által meghatározott szomszédos iparágak (informatika, elektronika, gépjárműipar) makrogazdasági szorzóit figyelembe véve együttesen a direkt és indirekt piaci potenciál 25 és 45 milliárd euróra rúghat 250 000 és 400 000 lehetséges új munkahellyel. A gazdasági értéklánc által előre jelzett legjelentősebb direkt munkalehetőségek a mezőgazdaságban, közbiztonságban, objektumvédelem, szállítmányozásban (beleértve az e-kereskedelemből származó szállításokat is) és mobilitáshoz kapcsolódó tevékenységekben érhető tetten [19][20].

### Urban Air Mobility

Egy másik kiemelkedő lehetőségekkel rendelkező alágazat is formálódóban van, ami mindenképpen említést érdemel a városi mobilitás berkein belül. A szegmensbe fokozatosan a dróngyártók (például eHANG, Volocopter, Airbus) is elkezdtek beszivárogni különböző megoldásaikkal (továbbiakban UAM<sup>6</sup>), ennek a területnek az éves piaci potenciálja egyes becslések szerint 2031-re akár meg is haladhatja a 2 milliárd eurót. A SESAR<sup>7</sup> piaci és gazdasági tanulmánya azt vizionálja, hogy ténylegesen 2027-ben várhatóak az első rendszeresen lebonyolításra kerülő ilyen típusú személyszállítások. Az UAM vonatkozásában a becsült értékek elsősorban az alábbi kritikus területekre fókuszálva adódnak:

- ➔ városból repülőtérré utazás az utazóközönség árérzékenységét is számításba véve;
- ➔ légitaxi használat meglévő taxizási szokások és adatok figyelembevételével;
- ➔ ingázás, elővárosi körzetekben.

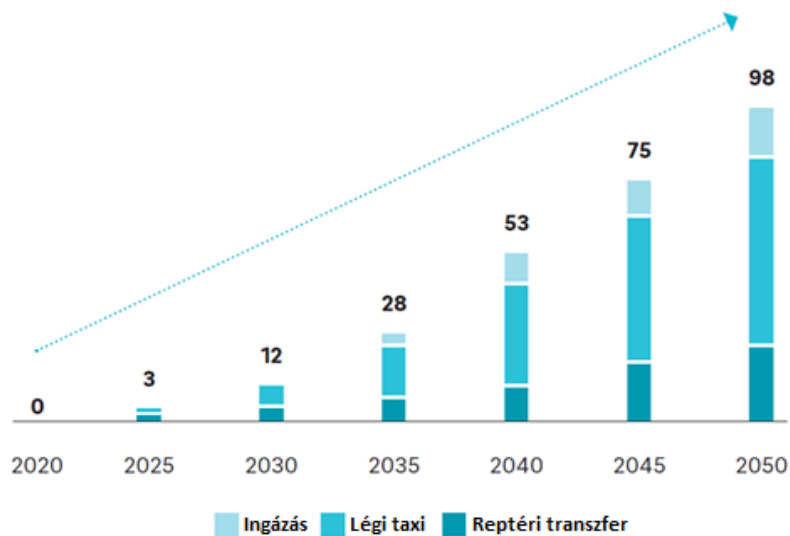
<sup>5</sup> OECD – Organisation for Economic Cooperation and Development

<sup>6</sup> UAM – Urban Air Mobility

<sup>7</sup> SESAR – Single European Sky Air Traffic Management Research

A mennyiségek 30 európai nagyváros figyelembevételével kerültek becslésre [19][20].

Egy, a RolandBerger által készített UAM tanulmány alapján viszont az első kereskedelmi célú városi személyszállításra specializált szolgáltatások rendszeres jelleggel akár már 2025 környék elindulhatnak. A tanulmány azt is megemlíti, hogy 2050-re 100 körülire becsülik azoknak a városoknak a számát ahol hasonló szolgáltatás működhet. A várható számadatokat ezres nagyságrendben szemlélteti az 5. ábra, látható, hogy 2050-re megközelítőleg 100 000 utasszállításra alkalmas drón lehet a levegőben világszerte, ami városonként átlagosan 1000 ilyen típusú eszközt jelenthet. A legkisebb nagyvárosokban 60, míg a legnagyobb metropoliszokban akár 6000 is üzemelhet. A RolandBerger a SESAR tanulmánnyal megegyező felhasználási lehetőségeket definiálta, melyeket az említett 5. ábra összegez [22].



5. ábra Utasszállításra alkalmas drónok előrejelzése világszerte (ezer darab) [22]

A területben rejlő lehetőségek kiaknázásában meghatározó szerepet töltenek be az olyan nagyvárosok, mint Dubai, Szingapúr, Dallas, Los Angeles és Tokió. Az említett metropoliszok szándékában áll és céljuk, hogy bizonyítsák a koncepció helytállóságát és létjogosultságát, különböző partnerekkel együttműködve. A 2020-as évek elején várhatók az első jelentősebb pilot projektek, melyek közül az egyik legígéretesebb a sokak által ismert Uber Elevate, ami Los Angelesben és Dallasban indulna útjára jelenlegi tervek alapján 2023-ban [22][23].

### Forgalmi menedzsment rendszerek piaca és meghatározó alapkoncepciók

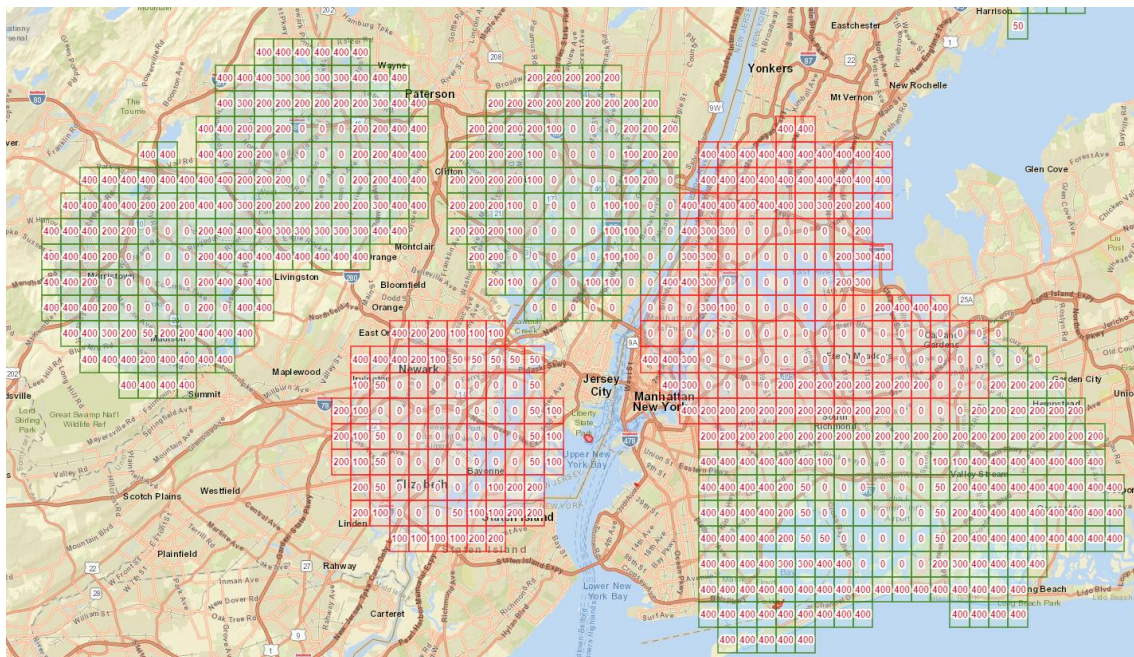
A pilóta nélküli légi jármű rendszerek (továbbiakban UAS<sup>8</sup>) forgalmi menedzsmentjét biztosító úgynevezett UTM<sup>9</sup> rendszerek egyre nagyobb piacot fognak lefedni és 2019–2023 között globálisan 959,2 millió dolláros üzletággá bővíthet az Unmanned Airspace előrejelzései alapján. A drónok biztonságos légtérbeillesztése és forgalmi menedzsmentje egyre nagyobb szeletet fog megkaparintani a drónos világból, már csak a forgalom folyamatos növekedése is predesztinálja a rendszer létjogosultságát. Világszerte már most is számos demonstrációs és validációs projekt fut, melynek keretében a különböző bemutatásra kerülő megközelítések rendszerlemei valós

<sup>8</sup> UAS – Unmanned Aircraft/Aerial System

<sup>9</sup> UTM – UAS Traffic management

körülmények között kerülhetnek tesztelésre. A terjedésben a látástávolságon túli repülések (továbbiakban BVLOS<sup>10</sup>) alkalmazása megkerülhetetlen szerepet játszik, ezek a típusú műveletek magas fokú forgalomkezelést igényelnek alapvetően már automatizált környezetben. Az említett rendíthetetlen növekedésre kiváló példa az Európában meghatározó belga UTM fejlesztő Unifly, aki négy ANSP-vel is együttműködik (Skeyes, AustroControl, DFS, Naviar) jelenleg. A partnerek közül Deutsche Flugsicherung (DFS) 2018. december 22-én hivatalosan is befektetővé válásával nyomatékosította rendületlen bizalmát a Unifly-ban amivel a start-up befektetési tőkéje elérte a 21 millió eurót. A példa olyan szempontból egyedülálló, hogy ez volt az első alkalom a piacon, hogy egy ANSP fektetett UTM rendszerfejlesztéssel foglalkozó cégbe [5][6].

## Egyesült Államok – UTM



6. ábra LAANC UAS Létesítmény térkép és gridek [8]

A NASA által definiált modellben a Szövetségi Légügyi Hatóság (továbbiakban FAA<sup>11</sup>) által hitelesített UAS ökoszisztéma szolgáltatók/szállítók (továbbiakban USS<sup>12</sup>) vannak. Minden érintett felel a rendszerek közötti megfelelő adatcseréért és adatáramlásért. A szükséges adatok egy speciális, adatátviteli modellen, a SWIM<sup>13</sup>-en keresztül kerülhetnek becsatornázásra a légiforgalmi menedzsment (ATM<sup>14</sup>) rendszerekbe is. Az FAA üzemeltet egy repülés információs menedzsment rendszert (FIMS<sup>15</sup>) is, mely a különböző érintettek (USS szolgáltatók, ATM üzemeltetők) közötti koordinációt biztosítja. Jelenleg 14 cég kapott hitelesítést (Aeronyde, Airbus, AirMap, AiRXOS, Altitude Angel, Converge, DJI, Harris Corporation, Kittyhawk, Project

<sup>10</sup> BVLOS – Beyond Visual Line of Sight

<sup>11</sup> FAA – Federal Aviation Administration

<sup>12</sup> USS – Unmanned Aircraft System Service Supplier

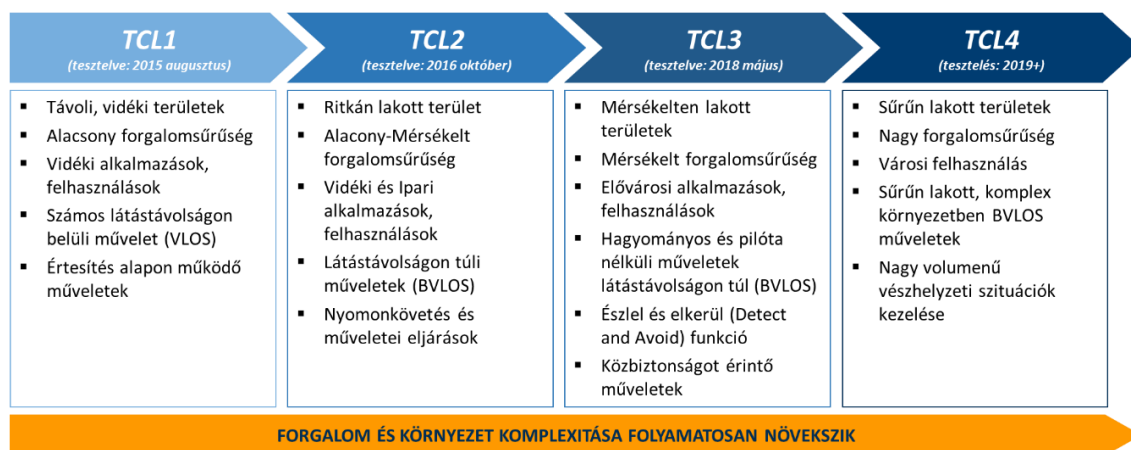
<sup>13</sup> SWIM – System Wide Information Management

<sup>14</sup> ATM – Air Traffic Management

<sup>15</sup> FIMS – Flight Information Management System

Wing, Skyward, Thales Group, UASidekick, Unifly), akik részt vehetnek a LAANC<sup>16</sup> koncepció megvalósításában hivatalosan [8][9][10][11][12][13].

A LAANC egy speciális együttműködés az FAA és a különböző kinevezett USS-ek között, melynek célja, a drónok légtérbeillesztése az USA-ban. A módszer segítségével a repülőterek közelében található ellenőrzött légterekhez lehet hozzáférést biztosítani a drón pilóták számára. Jelenleg a kezdeményezés 500 az Egyesült Államokban található repülőteret érint. Amennyiben a repülés nem LAANC repülőtér vagy légtér (B, C, D és E légtérsztály) közelében kerülne lebonyolításra úgy a hagyományos igénylési metódust kell végrehajtani, azaz Drone Zone-t kell foglalni. Fontos tudni, hogy minden 250 gramm és 25 kg közötti eszközt az FAA rendszerében regisztrálni szükséges. A 6. ábra a résztvevő repülőterek, úgynevezett grid szerű felosztását szemlélteti. A NASA az általa létrehozott TCL<sup>17</sup> program keretében definiálta a szükséges UTM funkciókat és drón üzemelési környezeteket, ehhez egy demonstrációs, validációs tervet dolgozott ki, melyet az 7. ábra szemléltet [8][9][10][11][12][13].



7. ábra NASA technológia képességi szintek fázisolása [11][13]

## Európa – U-space

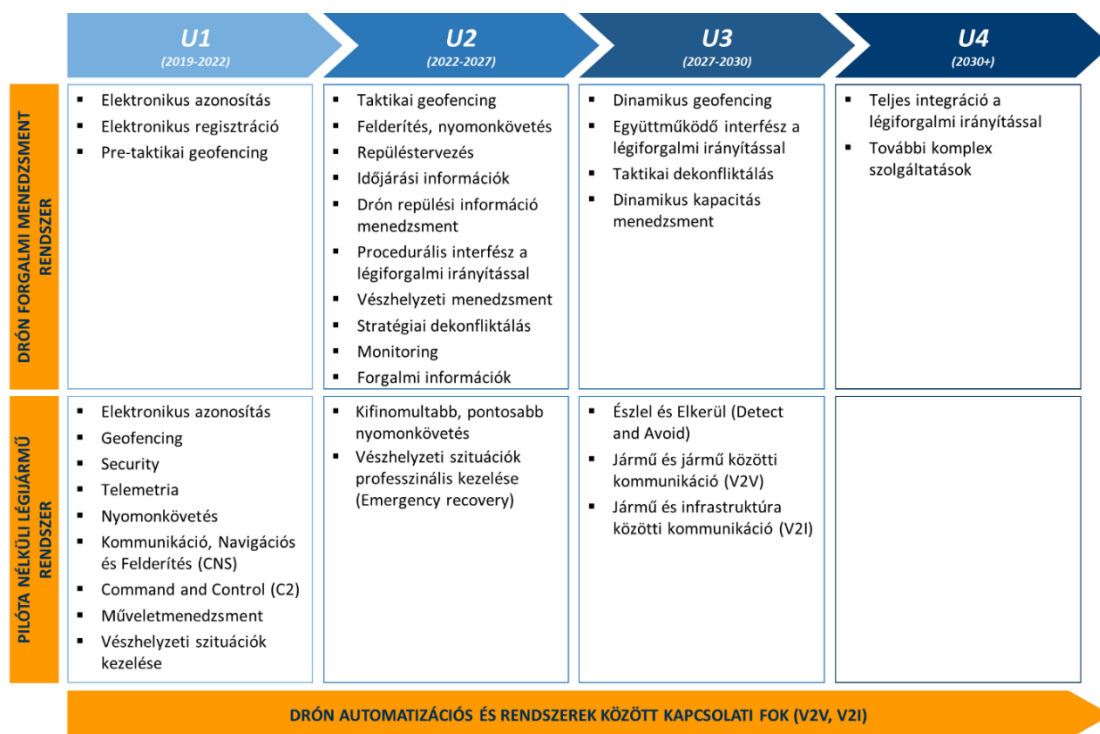
A SESAR JU<sup>18</sup> kezdeményezésére indított U-space programban a szolgáltatásért úgynevezett U-space szolgáltatók (USP<sup>19</sup>) felelnek és biztosítják bizonyos információk SWIM rendszeren keresztüli áramlását, a koordinációért ebben a környezetben a FIMS-hez hasonló feladatot lát el a U-space rendszer menedzser. A program keretében a SESAR négy implementáció szintet definiált U1-U4 között, mely drón és UTM-re vonatkozó funkcióit a 8. ábra szemléltet a SESAR JU alap dokumentumának számító U-space Blueprint szerint. Az 1. táblázat pedig a 2035 várhatóan szükséges különböző befektetéseket összegzi. A NASA UTM megközelítéséhez képest a koncepciót egy lépéssel tovább gondolták Európában olyan, formában, hogy a drón forgalmi menedzser rendszer (UTM) és drónokhoz köthető és feljüket elvárásaként támasztott funkciókat külön kezelik, viszont ezen egyes rendszerelemek kiegészítve egymást, egy magasabb színvonalú komplex szolgáltatást nyújthatnak. Erre tökéletes példa a drónok konfliktusainak megoldása, mely funkció alapvetően kiterjed statikus, féldinamikus és dinamikus akadályelkerülésre is.

<sup>16</sup> LAANC – Low Altitude Authorization and Notification Capability

<sup>17</sup> TCL – Technology Capability Level

<sup>18</sup> SESAR JU – Single European Sky Air Traffic Management Research Joint Undertaking

<sup>19</sup> USP – U-space Service Provider



8. ábra SESAR által definiált U-space implementációs szintek, funkciók [14][15]

Drón-drón között és időben illetve térben is statikus tárgyak esetében egy UTM rendszer még képes lehet a megfelelő információk birtokában akadályelkerülés támogatására riasztás küldésével és/vagy dinamikus útvonal újra tervezéssel, viszont az építkezéseknél előszeretettel használt daruk esetében időben dinamikus, térben féldinamikus akadályokról beszélünk. Ebben az esetben előtérbe kerülnek az olyan speciális, alapvetően szenzorokon alapuló drónok részéről elvárt képességek, mint az Észel és Elkerül funkció (továbbiakban DAA<sup>20</sup>) [14][15].

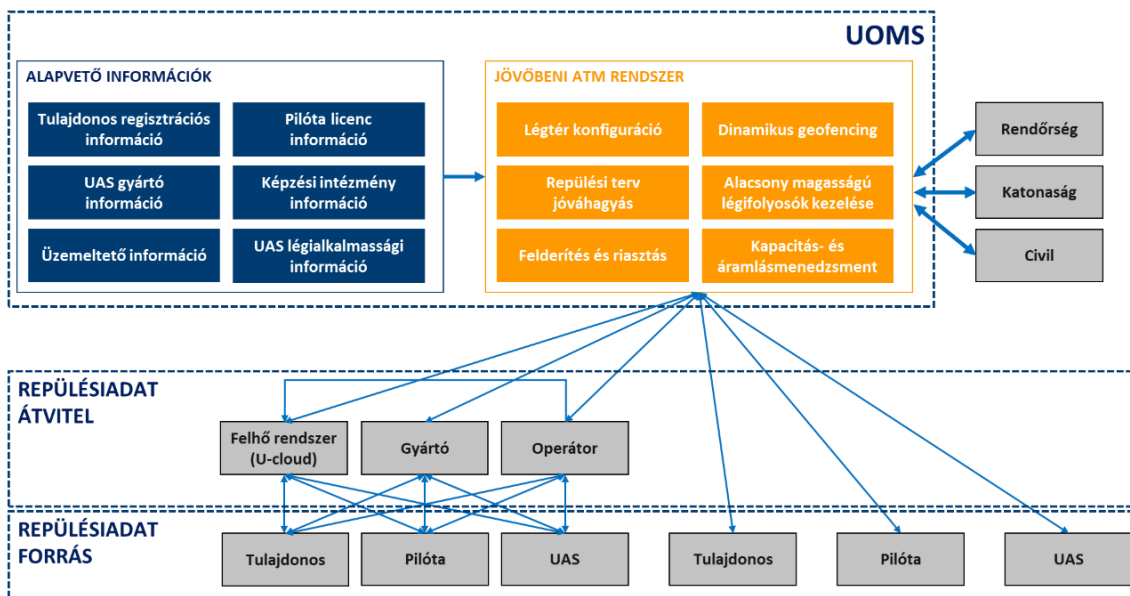
Különböző befektetési kategóriák	Befektetés 2035-ig [milliárd EUR]
<b>Infrastruktúra és szolgáltatások</b>	<b>3,4</b>
ATC interfész és repülőtéri adaptációk	1,2
Drón forgalmi menedzsment	0,9
Repülőterek és érzékeny területek védelme	0,3
Tele- és szatellitkommunikáció	0,6
Geofencing adatbázis	0,1
Fejlett adatszolgáltatás és információ meg-	0,1
Drón forgalmi menedzsment felügyelet	0,1
Elektronikus azonosítás és regisztráció	0,1
<b>Hardver és Szoftver rendszerek</b>	<b>0,7</b>
Drón rendszerek	0,6
Egyéb légi járművek	0,1
<b>Emberi erőforrás</b>	<b>0,4</b>
Eljárás tervezés és fejlesztés	0,3
ATC munkaerő képzés	0,1
<b>ÖSSZESEN</b>	<b>4,5</b>

1. táblázat Várható EU beruházások a U-space keretében 2035-ig [15]

<sup>20</sup> DAA – Detect and Avoid

## Kína – UOMS

A kínai közlekedési hatóság (továbbiakban CAAC<sup>21</sup>) kijelölt úgynevezett pilóta nélküli légi járműfelhőrendszer (továbbiakban UACS<sup>22</sup>) szolgáltatókat, akik a kapcsolatot biztosítják a végfelhasználók között, mely teljes ökoszisztéma az UOMS<sup>23</sup> nevet viseli. Az UOMS együttműködik a GAFS<sup>24</sup> rendszerrel és kommunikál a jelenleg használatos kínai ATM-mel és összeköttetésben van a katonai felhasználású rendszerekkel egyaránt. Az UOMS és az ATM valós idejű információkat kap az UAS-tól és kockázatelemzést végez a biztonság garantálása érdekében. Ez a rendszeregysétek biztosítja a szükséges riasztásokat, geofencinget a regisztrációt és járműpozíciós szolgáltatást. Jelenleg, 2018-as információk alapján hét UASC működik Kínában a CAAC felhatalmazásával. Az ökoszisztéma működését és vázlatos felépítését a 9. ábra szemlélteti [17][18].



9. ábra Kínai UOMS rendszer felépítése és információáramlási csatornák [17][18]

## Japán – UTM

A Japánban használatos UTM rendszert a Japán UTM Konzorcium vagyis JUTM<sup>25</sup> építette/építi és a különböző a témát érintő projekt a NEDO<sup>26</sup> által kerül finanszírozásra. A rendszer komprimál egy FIMS és számos UAS szolgáltatót üzemeltetőből (UASSP<sup>27</sup>), valamint kiegészítő adatszolgáltatókat (SDSP<sup>28</sup>). A FIMS felel minden repülési tervért, kezeli a riasztásokat és a vészhelyzeti szituációkat, továbbá elkerülési instrukciókat biztosít a drónpilóta részére. A 10. ábra a JUTM kutatás-fejlesztési koncepció 2017. évi felépülését és az egyes területek szereplőit szemlélteti. Japánban cél, hogy 2020-tól sűrűn lakott területek fölött BVLOS repülések is lehetségesek legyenek. A technológia, amely ezt a környezetet támogatni tudja már fejlesztés alatt van és a METI<sup>29</sup>

<sup>21</sup> CAAC – Civil Aviation Authority of China

<sup>22</sup> UACS – Unmanned Aircraft Cloud System

<sup>23</sup> UOMS – Civil UAS Operation Management System

<sup>24</sup> GAFS – General Aviation Flight Service

<sup>25</sup> JUTM – Japan UAS Traffic Management Consortium

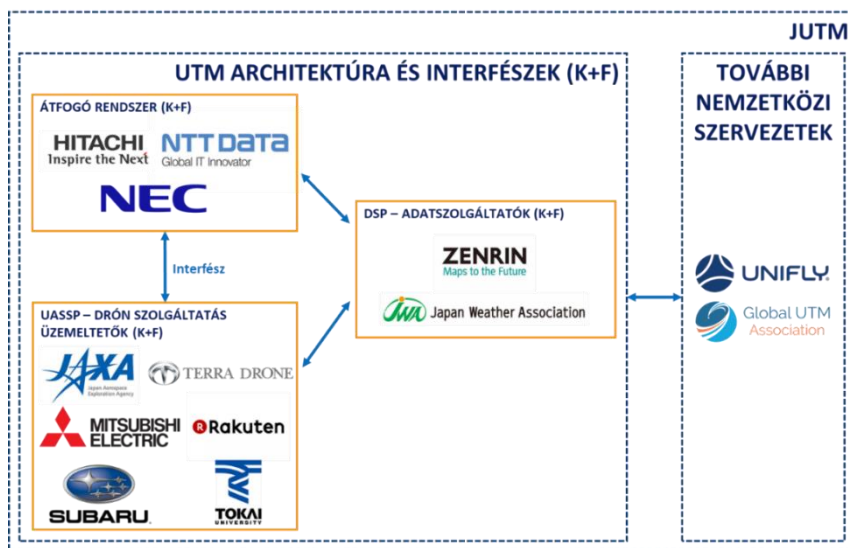
<sup>26</sup> NEDO – New Energy and Industrial Technology Development

<sup>27</sup> UASSP – Unmanned Aircraft System Service Provider

<sup>28</sup> SDSP – Supplemental Data Source Providers

<sup>29</sup> METI – Ministry of Economy, Trade and Industry

vagyis a Japán Gazdasági, Kereskedelmi és Ipari Minisztérium számos pályázati lehetőség keretében támogatja a törekvést. A demonstrációk 2017-ben kezdődtek meg és 2019-ben már az első teljes rendszerdemonstrációra készülnek, ami 2020-ra éles működésbe is léphet.



10. ábra A Japán JUTM rendszer felépítése és az egyes elemek érintettjei, felelősei [17][18]

## MAGYARORSZÁG A VILÁG DRÓN ÉS UTM TÉRKÉPÉN

Magyarországon a különböző piacok értéke, ahol a jövőben a drón alapú szolgáltatások széleskörű elterjedése várható a globális piac (127 milliárd dollár 2025-re) mértékéhez GDP (A magyar GDP a globális 0,2 százaléka) alapon arányosítva 72 milliárd forint (2017-ben a magyar drónos megoldások piacának becsült mérete 1 milliárd forint volt). Ez az érték a különböző szolgáltatások és munkaerő ára azokon a kiemelt területeken, ahol a drónok kiegészíthetik, vagy teljes mértékben képesek lehetnek kiváltani a humán munkaerőt. A potenciális felhasználások, köre három fő területre bontható szét:

- hobbi vagy rekreációs célú felhasználások (pl. verseny, fotózás);
- kereskedelmi és ipari felhasználások (pl. mezőgazdaság, szállítmányozás);
- közszolgálati és katonai célú felhasználások (pl. kutatás, határellenőrzés).

A legnagyobb potenciállal rendelkező hazai iparágak közé sorolható az infrastruktúra (36%), mezőgazdaság (25%), szállítmányozás (10%), biztonságtechnika (8%), média és szórakoztatóipar (7%), biztosítás (5%), telekommunikáció (5%) és bányászat (3%). Látható, hogy a drón technológia infrastruktúrához kapcsolódó felhasználásokban rejti a legnagyobb potenciált. Ilyen konkrét ehhez köthető terület az energetika, közmű, közút, vasút. A RolandBerger úgy becsüli, hogy az általános infrastruktúra és eszközfelügyelethez (pl. olajfűrótorony, szélturbina, tároló tartályok, közút, erőmű, felsővezeték) kapcsolódó drón tevékenységek radikális megta- karításokat eredményeznének a szektorban, ahogy azt a 11. ábra is bemutatja.

Ahogy az a cikk elején is említésre kerül, jelenleg ennek a szegmensnek a legnagyobb akadályozója a BVLOS repülésekhez kapcsolódó szabályok, korlátozások és szabványok definiálásának időigényes, körülményes mivolta. A drónok az idő előre haladtával, minden meghatározó paraméterük (akkumulátor, zajszint) szempontjából egyre jobbak lesznek, így csak az lesz a

kérdés, hogy mikor kerül kialakításra az a közeg melyben ezek a típusú tevékenységek zökkenőmentesen lebonolyíthatók lehessenek [2][21][24].



11. ábra Becsült elérhető megtakarítások a különböző infrastruktúrát érintő területeken [2]

### Fő közszolgálati drón felhasználási területek, profilok

- ➔ **Rendőrség és határőrség:** Határszakaszok ellenőrzése és csempésztevékenység feltérképezése, illetve köznepszerűségnek örvendő tömegrendezvények és közterek felügyelete. A várható drón flotta 2025-re 100–130 drón körülire becsülhető, relatíve gyors elterjedési ütem mellett [21].
- ➔ **Vám- és adóhivatal:** Csempésztevékenységek megakadályozása, raktár és telephelyellenőrzés, mozgásban lévő gépjárművek rakterének specializált kamerás átvilágítása (hőkamera). A tevékenységek kielégítő ellátására a becsült flotta mérete 2025-re 50–60 eszközre becsülhető [21].
- ➔ **Katasztrófavédelem:** Különböző természeti katasztrófák által súlytott területek gyors, hatékony és biztonságos feltérképezése, kárfelmérése és túlélők újfajta felkutatása. 2025-re ebben a szektorban a drónok száma 10–20 közé várható [21].
- ➔ **Terrorelhárítás:** Művelési területen támogatási feladatok ellátása, mint például megfigyelés, felderítés, követés, helyzetfelmérés, elterelés. Az felhasználásra szánt eszközök várható száma 10–15 közöttire becsülhető 2025-re [21].

Az egyes közszolgálati profilra becsült drónok számának átlagát nézve körülbelül 200 drón üzemeltetése várható 2025-re.

### Fő magyarországi hobbi drónfelhasználó profilok

- ➔ **Innovatív, technológia kedvelő családok:** Szabadidős tevékenység (kirándulás, nyaralás), szórakozás céljából vásárolt eszközök sorolhatók ebbe a csoportba. Fontos az alacsony ár, biztonságos és egyszerű üzemeltetés. Ez a felhasználói kör nem a legmagasabb minőségű eszközöket fogják vásárolni, és számuk körülbelül 30–80 ezer család közé becsülhető 2025-re [21].
- ➔ **Technológiáért rajongók, fanatikusok:** A legmodernebb, innovatív kütyük érdeklik ezt a felhasználói csoportot. Elsődleges vásárlási kritérium számukra a technológiai, funkcionális sokoldalúság mellett a számos cserélhető hasznos teher (payload). Számosságuk 30–50 ezer közé várható 2025-re [21].
- ➔ **Extrém sportolók:** Elsősorban speciális funkciókkal rendelkező eszközök iránt érdeklődők köre, akik, képek és videók készítésére alkalmas drónokat vásárolhatnak. Jelentős

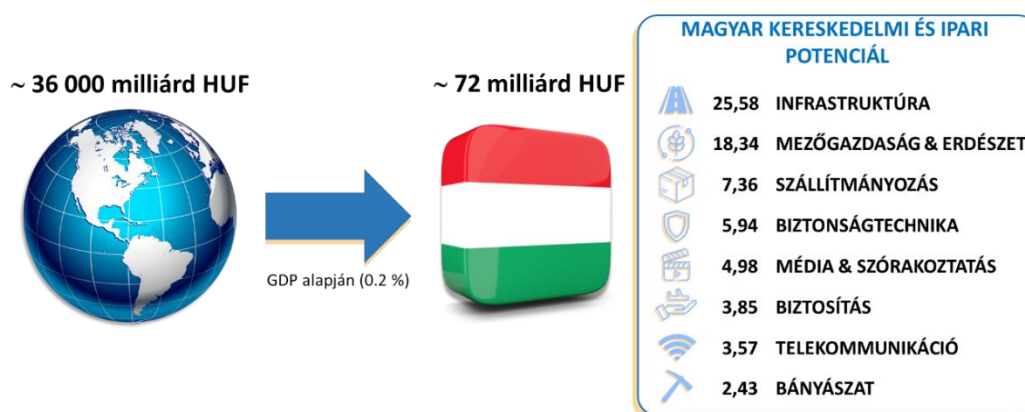


szempont az esetükben a magas fokú önállóság, akadályelkerülés, személykövetés. 2025-re a felhasználók száma 20–30 ezer körüli értéket is elérheti hazánkban.

- **Hobby- és amatőr fotósok, videósok:** A fotózás amatőr körökben is hatalmas népszerűségnek örvend. Az okostelefonok robbanásszerű elterjedésével bárki bármikor megörökítheti a pillanatot a saját szemszögéből. A drónok ezen pillanatokot teljesen új perspektívába képesek helyezni, teljesen új lehetőségeket nyújtva ezzel a fotózás és videóképzés szerelmesei számára. A felhasználók számára a jó minőségű kamera és könnyen navigálható eszközök a legfontosabb vásárlási kritériumok. Az érintettek köre 2025-re 10–20 ezer fő közé várható [21].

Legnagyobb potenciállal rendelkező kereskedelmi és ipari felhasználási területek

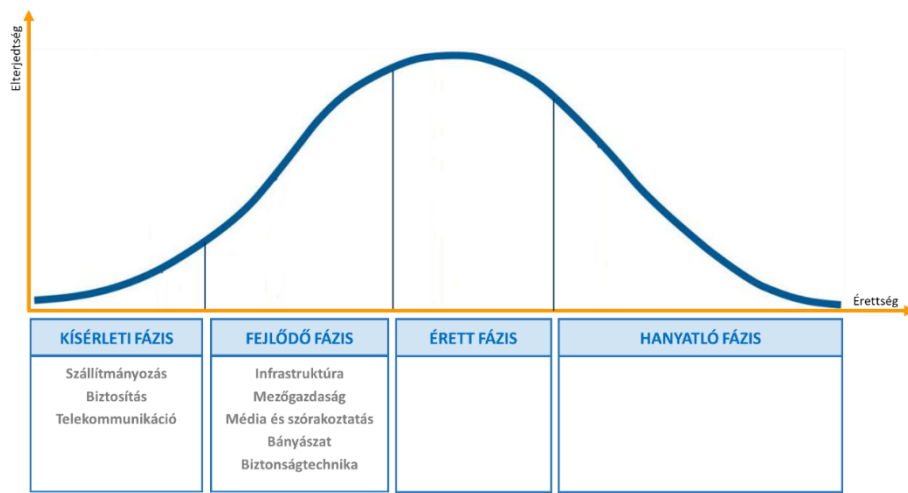
- **Infrastruktúra:** Elsősorban a már említett építkezési-, állapotfelmérési-, karbantartási munkákban támogatás nyújtásra és eszközállomány nyilvántartásra használhatók a szegmensben a drónok (pl. nyersanyag mennyiség, vezeték, híd, antennatornyok, szél-turbina, futópálya) [21][24].
- **Mezőgazdaság:** Magyarországon az egyik legtöbb lehetőséget rejtő terület, ahol rövid távon megvalósulhat a drónok használatával a termés- és termőföldek egészségének, állapotának ellenőrzése, középtávon pedig a permetezési és vetési tevékenységek elvégzésére is bevetethők lesznek. Közvetett előny, hogy a termelés eddig nem észrevehető hiányosságai kiküszöbölhetővé válnak, ami jobb minőségű és nagyobb mennyiségű terméshez vezetne [21][24].
- **Szállítványozás:** Talán a mindenki számára legnyilvánvalóbb és leginkább köztudatban lévő felhasználási terület, melynek köszönhetően hazánkban is megvalósulhat középtávon a kistömegű áruk, alkatrészek és étel szállítása mellett a vér, gyógyszer vagy akár szervszállítás is. Nemzetközi vonatkozásban az Amazon szerint a 2–8 dollár helyett a házhozszállítási költségek drónokkal akár 10 centre zuhanhatnak a megfelelő üzleti modell kidolgozásával az Egyesült Államokban 10 km-es sugarú körön belüli szállítás esetén [21][24].



12. ábra Magyarországi piacok értéke, ahol a drónok használata elterjedhet 2025-re [21][24]

- **Biztonságtechnika, objektumvédelem:** A hagyományos, jól ismert védelmi technológiák kiegészítésekén szolgálhat a drónok használata. Időszakos járőrözések kiváltása drónokkal, fix kameraoszlopok helyett dinamikus felügyeleti feladatok, amelyek kiválóan alkalmasak például határmenti szakaszok ellenőrzésére. Ezek a típusú feladatok jelentősen csökkentenék a munkavállalói veszélyeztetettséget, terheltséget, vagy akár ki is válthatná egyes szituációkban azt [21][24].

- **Média, szórakoztatás és reklámpiac:** Magyarország egyre nagyobb szerepet tölt be a nemzetközi filmipar tevékenységében és újra fellendülőben van a hazai filmgyártás is. Egy-egy forgatás szinte már elképzelhetetlen valamilyen drónokkal felvett snitt elkészítése. Jelentős költségmegtakarítások érhetők el a szórakoztatóiparban (daruskocsi) már napjainkban is az ilyen típusú eszközök bevetésével. Jelenleg egy produkció forgatása során átlagosan 6 napon keresztül használnak manapság drónokat [21][24].
- **Biztosítás:** A biztosítással foglalkozó cégek jelenleg két egyre jelentősebb jelenlévő negatív trenddel szembesülnek, a biztosítási csalásokkal és a természeti katasztrófák növekvő számával. A drónok három fő területen alkalmazhatók közvetlenül ezen a területen, mégpedig kockázatelemzés, kockázatmonitoring és követeléskezelés [21][24].



13. ábra A bemutatott szektorok globális drónfelhasználási érettségének becslése [21][24]

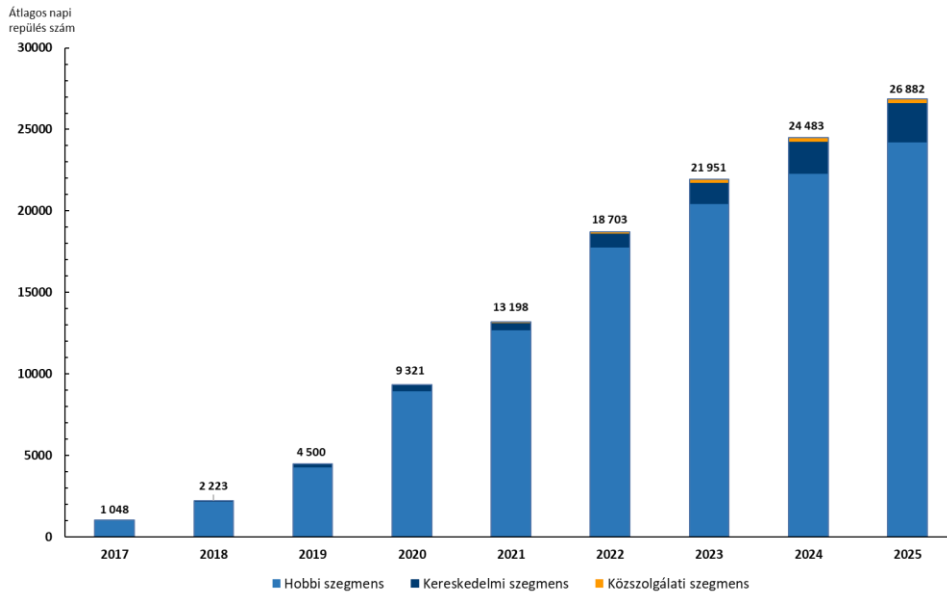
- **Telekommunikáció:** A telekommunikációs szektorban jelentős erőforrásokat fordítanak a meglévő infrastruktúra ellenőrzésére és karbantartására. Számos esetben az ellenőrzések nem közvetlen velejáró tevékenysége a javító munkálat végzése, így számottevő költségmegtakarítás érhető el. De ideiglenesen túlterhelt vagy lefedetlen területeken szolgáltatás minőségjavításra (4G, 5G mobilhálózat biztosítása) is felhasználhatók lehetnek a jövő drónjai [21][24].
- **Bányászat:** Magyarországon a drónok felhasználása elsősorban a külszíni fejtések során vehető igénybe feltérképezési és kitermelés ellenőrzési munkák során. Az egyre csökkenő hazai föld alatti bányászati tevékenység esetleges serkentésében jelentős szerepet játszhatnak a GPS nélküli LiDAR<sup>30</sup> segítségével navigáló drónok elterjedése is [21][24].

A röviden bemutatott felhasználásokból származó ígéretes szolgáltatások és éves munkaerő értéke 2025-ig történő kivetítését mutatja be a 12. ábra. A 13. ábra pedig a felsorolt ágazatok globális piacok drónadaptációs érettségét szemlélteti.

### Magyarország drónforgalmának becslése a közép-magyarországi régióra

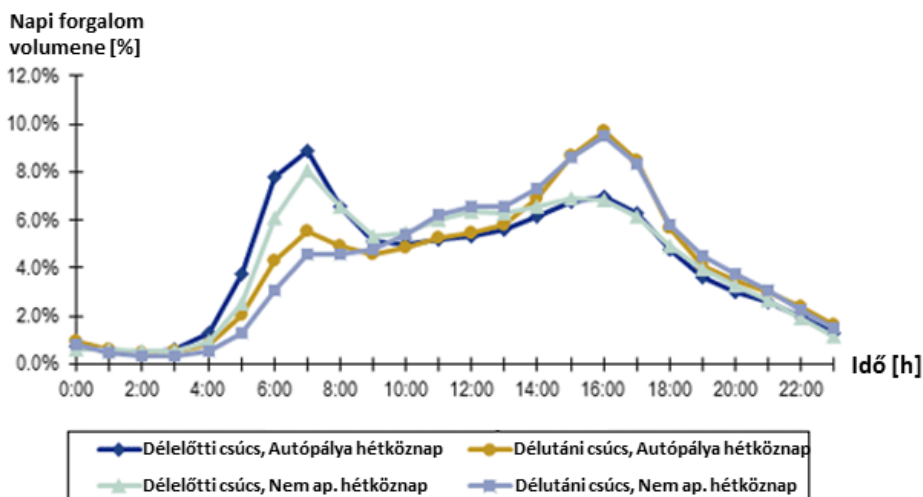
A RolandBerger becslései szerint 2025-re a Magyarországon a repülések éves száma akár a 10 milliós határt is súrolhatja, ami megközelítőleg átlagos napi 27 000 repülésnek felel meg.

<sup>30</sup> LiDAR – Light Detection and Ranging – Lézer alapú távérzékelés



14. ábra Magyarországi napi becsült drónforgalom 2017-2025 között [21]

A 14. ábrán látható a napi várható potenciális drón forgalmakat Magyarországra vetítve 2017 és 2025 közötti időszakban. A hobbi (90%) drónfelhasználások fogják a repülések jelentős részét kitenni az említett repüléseknek, és ahogy az említett BVLOS repülések légtérbeillesztési folyamata végbemegy úgy a kereskedelmi és ipari felhasználások is növekedésnek indulhatnak valamikor 2020 után és 2025-re a komplett hazai szegmens 9–10%-át is adhatja. Az előrejelzések alapján az éves repülések legkisebb hányadát a közszolgálati és katonai tevékenységek (1%) fogják adni, körülbelül –2%-ot, melyek jelentős része határőrzési tevékenységekből fog adódni.



15. ábra Napi vegyes forgalom eloszlás az Egyesült Államokban [25]

A napi várható magyarországi forgalommal összehasonlítva napjainkra az európai átlagos napi nagygépes kereskedelmi forgalom elérte a 28 000-et. Látható, hogy Magyarországon a 2025-re várható napi drón repülések száma lényegében egyenértékű az összeurópai kereskedelmi forgalommal. A drónok által generált jövőbeni forgalom megjelenése sok hasonlóságot mutathat a közúti közlekedésével, mindezt sokkal rövidebb technológiai adaptációs idővel párosulva, vagyis a magasabb népsűrűségű területeken több járműmozgás lehet jellemző rövidebb időn

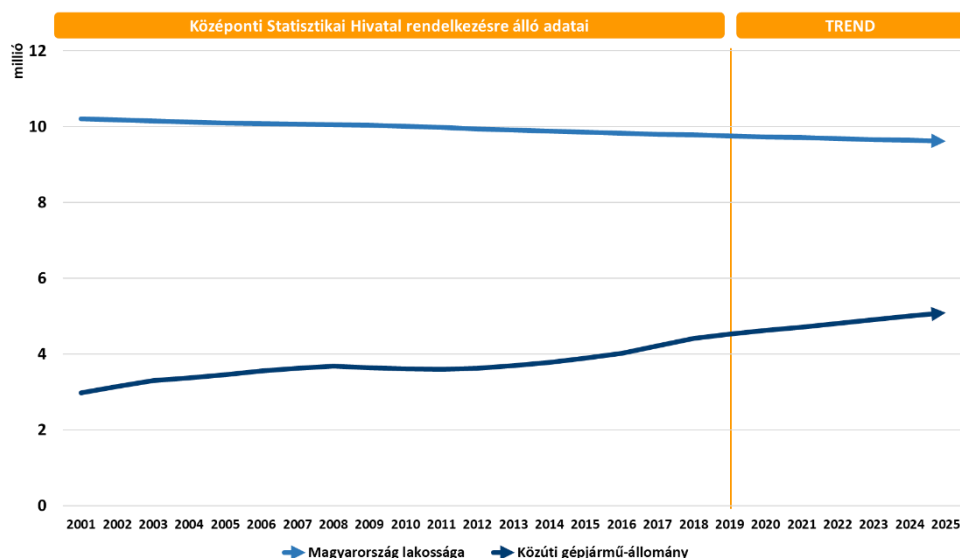
belül. Ugyanilyen hasonlóság lehet a forgalom napi eloszlását tekintve, mindez egy délelőtti és délutáni csúcsidezőszak formájában manifesztálódva, ahogy azt a 15. ábra is szemlélteti.

Ha Budapest és Pest megye (továbbiakban Közép-Magyarország) – a cikk írásának pillanatában rendelkezésre álló legfrissebb – lakossági adatait és a forgalomban lévő személygépjármű állományt (ideértve személygépkocsikat, autóbuszokat, motorkerékpárokat, tehergépkocsikat, vonatokat) vesszük alapul, és az országos adatokkal arányosítjuk, (2. táblázat) akkor arra a következésre juthatunk, hogy a gépjármű állomány ( $\eta_{gj;2018} = 0,3282$ ) és a lakosság ( $\eta_{l;2018} = 0,3080$ ) aránya közel azonosnak tekinthető. [2][21]

	HÁZTARTÁS [2011]	LAKOSSÁG [2018]	BECSÜLT LAKOSSÁG [2025]	KÖZÚTI GÉPJÁRMŰ-ÁLLOMÁNY [2018]	BECSÜLT KÖZÚTI GÉPJÁRMŰ-ÁLLOMÁNY [2025]
PEST MEGYE	457 000	1 261 864	1 240 108	649 468	771 035
BUDAPEST	734 137	1 749 734	1 719 567	785 146	925 007
KÖZÉP-MO.	1 191 137	3 011 598	2 959 675	1 434 614	1 696 042
MAGYARORSZÁG	3 789 909	9 778 371	9 609 867	4 397 067	5 094 651
ARÁNY*	<b>0,3143</b>	<b>0,3080</b>	<b>0,3080</b>	<b>0,3263</b>	<b>0,3329</b>

2. táblázat Várható drónszámosság a közép-magyarországi régióban 2025-re (forrás: KSH, RolandBerger)

Tovább vizsgálódva arra is fény derül, hogy a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) által elérhető legfrissebb 2011-es népszámlálás során meghatározott háztartási adatok ( $\eta_{h;2011} = 0,3143$ ) is nagyon hasonló arányszámot mutatnak a Közép-Magyarországi régióra vetítve, ahogy az a 2. táblázatban is megfigyelhető.



16. ábra Lakossági és gépjármű-állomány trend 2018-2025 között (forrás: KSH, RolandBerger)

A 2011-es lakossági- és háztartási adatok alapján az átlagos taglétszám 2,5-re adódik a régióban körülbelül 435 fő/km<sup>2</sup>-es népsűrűség mellett (105 fő/km<sup>2</sup> az országos átlag népsűrűség). Ha pedig a 2018. évi lakosságot hasonlítjuk a teljes közúti gépjármű-állományhoz, akkor 2,1 főre jut 1

jármű. A jelenlegi népességi és járműipari tendenciákat figyelembe véve, – amit a 16. ábra szemléltet – 2025-re akár, minden 1,8 főre juthat 1 gépjármű. Az ábrán jól látható, hogy a lakosság folyamatosan csökken, addig a gépjármű állomány nő [2][21].

Az 1. táblázat, a 15. és 16. ábra adatai felhasználásával adható egy közelítő becslés a forgalom várható napi összetételéről és a forgalomban lévő drónok várható számosságáról, melyet a 3. táblázat szemléltet.

	NAPI ÁTLAGOS REPÜLÉS	DRÓNOK SZÁMA	ELOSZLÁS***
<b>ÖSSZESEN*</b>	26 882	187 200	100%
<b>HOBBI SZEGMENS</b>	24 137	169 000**	90%
<b>KERESKEDELMI SZEGMENS</b>	2577	18 000**	9%
<b>KÖZSZOLGÁLATI SZEGMENS</b>	168	200**	1%

\*RolandBerger közelítése alapján \*\*CAGR (éves növekedési ráta 27%) és RolanBerger információk alapján

\*\*\* Roland Berger becslése a drón repülések várható eloszlására (2025)

3. táblázat Magyarországi repülések és drónok várható száma 2025-re [21]

A 3. táblázatban látható adatokból és a 15. ábrán látható közúti forgalom eloszlásából, illetve az 2. táblázat arányaiból megbecsülhető a közép-magyarországi régiót 2025-ben terhelő napi és csúcspóra drónforgalom, melyet a 4. táblázat összegez szegmensekre lebontva. Látható, hogy a 27 000-hez közeli napi átlagos repülés szám mellé akár 187 200 drón is társulhat. Ez lakossági és a háztartási adatokkal összevetve arra jutunk, hogy körülbelül minden 50 lakosra és minden 20 háztartásra jutni fog egy drón 2025-re Magyarországon.

	MAGYARORSZÁG			KÖZÉP-MAGYARORSZÁG*		
	NAPI ÁTLAGOS FORGALOM	CSÚCSÓRA FORGALOM	DRÓNOK SZÁMA	NAPI ÁTLAGOS REPÜLÉS	CSÚCSÓRA FORGALOM	DRÓNOK SZÁMA
<b>ÖSSZESEN</b>	<b>26 882</b>	<b>4839</b>	<b>187 200</b>	<b>8545</b>	<b>1538</b>	<b>59 508</b>
<b>HOBBI</b>	24 137	4345	169 000	7673	1381	53 723
<b>KERESKEDELMI</b>	2577	464	18 000	819	147	5722
<b>KÖZSZOLGÁLATI</b>	168	30	200	53	10	64

\*Közép-Magyarország: Budapest és Pest megye

4. táblázat 2025-re várható drónforgalom és számosságuk Közép-Magyarországon (források alapján: [21][25])

Ahogy azt a 4. táblázat is szemlélteti a közép-magyarországi régió napi drónforgalma 2025-re meghaladhatja a 8500 repülést, melyből a délelőtti és délutáni csúcspórában külön-külön több, mint 1500, vagyis összesen 3000 bonyolódhat le. Külön megvizsgálva a kereskedelmi repüléseket arra jutunk, hogy a magyarországi csúcspóra forgalom 500 repüléshez közelíthet, a közép-Magyarországi pedig 150 körüli repülésre becsülhető 2025-re, melyet részletesen alágazatonkénti bontásban összegez az 5. táblázat.

	HUNGARY		BUDAPEST AREA	
	NAPI ÁTLA- GOS REPÜ- LÉS	CSÚCSÓRA FORGALOM	NAPI ÁTLA- GOS REPÜ- LÉS	CSÚCSÓRA FORGALOM
<b>ÖSSZESEN</b>	<b>2577</b>	<b>464</b>	<b>819</b>	<b>147</b>
INFRASTRUKTÚRA	915	165	291	52
MEZŐGAZDASÁG	656	118	208	38
SZÁLLÍTMÁNYOZÁS	263	47	84	15
BIZTONSÁGTECHNIKA	213	38	68	12
MÁDIA ÉS SZÓRAKOZ- TATÁS	178	32	57	10
BIZTOSÍTÁS	138	25	44	8
TELEKOMMUNIKÁCIÓ	128	23	41	7
BÁNYÁSZAT	87	16	28	5

\*Közép-Magyarország: Budapest és Pest megye

5. táblázat Kereskedelmi repülések lehetséges száma 2025-re Magyarországon és a közép-magyarországi régióban (források alapján: [21][25])

## ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikk átfogóan bemutatta a pilóta nélküli légi járművekkel és forgalmi menedzsmentjük lehetőségeivel kapcsolatos lehetőségeket és felhasználásokat, illetve a nemzetközi szinten rendelkezésre álló információk alapján magyarországi forgalmi előre becslés került felállításra. Még ha csak nagyvonalú becslésekről is esett szó, de ezeknek az adatoknak, információknak a birtokában kijelenthető, hogy égető szükség van egy megfelelő minden igény kielégítő UTM rendszerre, ami garantálja a drónok biztonságos, hatékony és tervezhető integrálását országunk légterébe, mindezt oly módon, hogy az támogatója ne pedig gátlója legyen az üzleti lehetőségek kiteljesedésének. Ahogy az részletezésre került a világ különböző meghatározó régiói már aktívan dolgoznak a légtérbeillesztést szorgalmazó és biztosító megoldásokon, mint például a UTM, U-space, UOMS és JUTM, mely megoldások sok hasonló vonással operálnak, viszont igyekeznek a saját jogszabályi, szabványosítási környezetük és felhasználói igényeik szerint egyedire szabni. A cikk kitért a dróngyártói piac összetételére, melynek közel kétharmada (74%) jelenleg egy cég, a DJI kezében összpontosul lefedve lényegében az összes meghatározó és népszerű árkatagóriát. Magyarországon a különböző piacok értéke, ahol a jövőben a drón alapú szolgáltatások széleskörű elterjedése várható a globális piac mértékéhez GDP alapon arányosítva 72 milliárd forint. Ez az érték a különböző szolgáltatások és munkaerő ára azokon a kiemelt területeken, ahol a drónok kiegészíthetők, vagy teljes mértékben képesek lehetnek kiváltani a humán munkaerőt. A globális és hazai keresési trendek azt mutatják, hogy a drónok iránti kereslet töretlen és az egyik legmeghatározóbb feltörekvő szegmens a mesterséges intelligencia mellett. Alapvetően három fő drónfelhasználási terület terjedt el a köztudatban, a hobbi, kereskedelmi és közszolgálati felhasználás. Magyarországon ezek közül a hobbifelhasználás teszi ki jelenleg és úgy tűnik a jövőben is a repülések túlnyomó többségét. A kereskedelmi felhasználásban rejlő lehetőségek kiaknázásához alapvetően látástávolságon túli repülések szükségesek, melyek terjedése 2020 után várható nemzetközi szinten is. Az ilyen típusú műveletek légtérbeillesztése jelenleg még sokkal több kihívással jár, mint a hobbi repüléseké, melyek

cilinder jellegű légterekben kerülnek lebonyolításra jelenleg. Az egész iparág bölcsőjének számító közszolgálati és katonai felhasználás megfogja őrizni megkerülhetetlen pozícióját és a jövőben is jelentős mértékű beruházások és fejlesztések várhatók, melyből a későbbiekben a kereskedelmi és hobbi felhasználók is kamatozhatnak.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Total Global Drone Shipments – Future Growth of the drone industry and previous years comparison; <http://www.dronesglobe.com/news/drone-market-share-analysis-predictions-2018/>
- [2] RolandBerger, Drones: The future of asset inspection; <https://www.rolandberger.com/en/Publications/Drones-The-future-of-asset-inspection.html>
- [3] Goldman Sachs Research, Drones: Reporting for Work; <https://www.goldmansachs.com/insights/technology-driving-innovation/drones/>
- [4] Forbes, The 4 Ds of Robotization: Dull Dirty, Dangerous and Dear; <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2017/10/16/the-4-ds-of-robotization-dull-dirty-dangerous-and-dear/#4e1f81e63e0d>
- [5] Unifly; DFS invests in Unifly; <https://www.unifly.aero/news/dfs-invests-in-unifly>
- [6] Unmanned Airspace Info; Global 2019-2023 UTM market grows to USD959,2 million – latest Unmanned Airspace forecast; <https://www.unmannedairspace.info/utm-and-c-uas-market-analysis/global-2019-2023-utm-market-grows-usd959-2-million-latest-unmanned-airspace-forecast/>
- [7] Skylogic Research: Drone Analyst; <http://droneanalyst.com/research/research-studies/2018-drone-market-sector-report-purchase>
- [8] FAA; LAANC UAS Facility Map and Grids; <https://faa.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=9c2e4406710048e19806ebf6a06754ad>
- [9] FAA; Concept of Operations v1.0; 2018; <https://utm.arc.nasa.gov/docs/2018-UTM-ConOps-v1.0.pdf>
- [10] Airbus; Blueprint for the sky: The roadmap for the safe integration of autonomous aircraft; 2018
- [11] EASA; Concept of Operations for Drones – A risk based approach to regulation of unmanned aircraft; 01/05/2015
- [12] NASA; UTM Conflict Mitigation Approach Study 2018; <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20180002124.pdf>
- [13] NASA; Unmanned Aircraft System (UAS) Traffic Management (UTM): Enabling Civilian Low-altitude Airspace and Unmanned Aircraft System Operations; <https://utm.arc.nasa.gov/index.shtml>
- [14] SESAR; U-space blueprint 2017; ISBN: 978-92-9216-086-9; MG-04-17-617-EN-C; <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/U-space%20Blueprint%20brochure%20final.PDF> DOI: <https://doi.org/10.2829/614891>
- [15] SESAR Joint Undertaking; European ATM Master Plan: Roadmap for the safe integration of drones into all classes of airspace; <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European%20ATM%20Master%20Plan%20Drone%20roadmap.pdf>
- [16] Google Trends; <https://trends.google.hu/trends/?geo=HU>
- [17] CAAC; UOMS in China; [https://rpa-regulations.com/wp-content/uploads/2018/06/1.2-Day1\\_0910-1010\\_CAAC-SRI\\_Zhang-Jianping\\_UOMS-\\_EN.pdf](https://rpa-regulations.com/wp-content/uploads/2018/06/1.2-Day1_0910-1010_CAAC-SRI_Zhang-Jianping_UOMS-_EN.pdf)
- [18] GUTMA; General description of UOMS; <https://gutma.org/map/China>
- [19] SESAR; European Drone Outlook Study 2016; [https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European\\_Drones\\_Outlook\\_Study\\_2016.pdf](https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European_Drones_Outlook_Study_2016.pdf)
- [20] Organisation for Economic Cooperation and Development; <http://www.oecd.org/>
- [21] RolandBerger; Magyar drónpiaci elemzés és növekedési kitekintés; 2017. április 7.
- [22] RolandBerger; Urban Air Mobility – The rise of a new mode of transportation; 2018. november
- [23] Uber; Uber Elevate – Fast Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation; 2016. október 27; <https://www.uber.com/elevate.pdf>
- [24] PwC; Clarity from above – PwC global report on the commercial applications of drone technology
- [25] U.S. Department of Transportation; Freight Management And Operations; <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop15033/sec2.htm>

**DRONE AND UTM MARKET FORECAST AND BUSINESS POTENTIAL OVERVIEW**

*The objective of this article to give a clear and complete picture about the whole drone segment including the so called unmanned aircraft system traffic management market as well. It is still a living statement, that drone manufacturing and technology developments are far ahead of the current state of the national and international regulatory and standardization environment. The article presents the global drone market trends focusing on manufacturers and taking into account the most relevant, demanding stakeholders and the utilization possibilities of these tools on an international scale. Based on the available information the aim is to outline a domestic related forecast. The goal of HungaroControl Pte. Ltd. Co is to concentrate and work proactively within the segment taking into account the European and Hungarian interests to build an all-around UTM service for the drone community.*

**Keywords:** UTM, UAM, UAV, UAS, U-Space, Unmanned Aircraft Vehicle

---

Dobi Sándor Gábor junior kutatás-fejlesztési szakértő HungaroControl Magyar Légiforgalmi Zrt. Üzletfejlesztési Igazgatóság Szakmai Fejlesztési Osztály Kutatás Fejlesztési Csoport sandor.dobi@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0001-6093-7805	Sándor Gábor Dobi Junior Research and Development Specialist HungaroControl Hungarian Air Navigation Services Business Development Directorate Research, Development and Simulation Department Research and Development Unit sandor.dobi@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0001-6093-7805
Horváth Krisztina kutatás-fejlesztési csoportvezető HungaroControl Magyar Légiforgalmi Zrt. Üzletfejlesztési Igazgatóság Szakmai Fejlesztési Osztály Kutatás Fejlesztési Csoport krisztina.horvath@hungarocontrol.hu orcid.org/0000	Horváth Krisztina Head of Research and Development Unit HungaroControl Hungarian Air Navigation Services Business Development Directorate Research, Development and Simulation Department Research and Development Unit krisztina.horvath@hungarocontrol.hu orcid.org/0000
Rohács Dániel (PhD) szakmai fejlesztési osztályvezető HungaroControl Magyar Légiforgalmi Zrt. Üzletfejlesztési Igazgatóság Szakmai Fejlesztési Osztály daniel.rohacs@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417	Daniel Rohács (PhD) Head of Research, Development and Simulation Dept. HungaroControl Hungarian Air Navigation Services Business Development Directorate Research, Development and Simulation Department daniel.rohacs@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/260/33>



Szakács Tamás, Pokorádi László

## PNEUMOBIL VEZÉRLÉSI RENDSZERÉNEK GRÁFVIZSGÁLATA

DOI: 10.32560/rk.2019.1.5

*Az Aventics/Emerson cég, és jogelődei 2008 óta rendszeresen megszervezik a hazai és külföldi felsőoktatási intézmények diákjainak kiírt sűrített levegővel hajtott pneumobilok versenyét. Ez a verseny 2019-re egy nemzetközileg is jelentős versennyé nőtte ki magát. 2018-ban 9 ország több mint ötven csapata nevezett, melyből a szigorú műszaki követelmények miatt csupán 38 csapat tudott a rajthoz állni. Az Óbudai Egyetem és jogelőde az első verseny óta folyamatosan 2–4 csapattal nevezett a versenyen, melyen a csapatoknak különböző futamokon kell helytállniuk. Az egyik futam a jármű hatékonyságát teszi próbára, mivel a cél az egy palacknyi töltéssel megtehető legnagyobb távolság elérése. A másik futamon a legnagyobb gyorsulás, és végsebesség elérése a feladat. A harmadikon pedig a jármű kezelhetősége, dinamikussága és a pilóta vezetési képessége a döntő. A változó elvárásoknak megfelelően a különböző futamokra eltérő motorvezérlési stratégiát kell kidolgozni, ami a motorvezérlés kialakítását nagyon összetett feladattá teszi. A komplex vezérlési stratégiák kifejlesztése rendszerszintű vizsgálatot igényel. A tanulmány egy ilyen vizsgálati módszert, a pneumobil vezérlésének gráf-vizsgálatát mutatja be.*

**Kulcsszavak:** Jármű; pneumobil; vezérlés; gráf modellezés

### BEVEZETÉS

Az Aventics/Emerson cég 2008 óta rendezi meg a nemzetközi pneumobil versenyt, melyen hazai, és külföldi felsőoktatási intézmények hallgatói vesznek részt. A versenyeken különböző futamokat (távolsági, ügyességi, és gyorsulási) rendeznek, melyek teljesítéséhez a járműveknek eltérő követelményeknek kell megfelelniük. Az évek során a verseny nagyon szorossá vált, az esélyek, eredmények kiegyenlítődték. Azoknak a csapatoknak, akik versenyben akarnak maradni, megfelelő motorvezérlő-rendszert kell fejleszteniük, és azt optimalizálniuk.

Az egyes futamok megfelelő teljesítéséhez különböző vezérlési stratégiákra van szükség. A távolsági futamon a palackban tárolt gázenergiának utolsó cseppjét is mozgásenergiává kell alakítani. Az ügyességi futamon a jármű kezelhetőségén és a pilóta képességén kívül a jármű dinamikussága játszik fontos szerepet. A gyorsulási versenyen a folyamatosan, nagyobb sebességtartományban is leadott nyomaték az elvárás.

Integrált, komplexkapcsolatú rendszer, mint például egy pneumobil vezérlő rendszer, elemzése során azt diszkrét gráffal (vagy hálózattal) kell reprezentálni. Ez számos járműtechnikai (például elektromos, hidraulikus, szenzor) rendszer esetén megtehető.

Nagyméretű, lineáris rendszer gráf-reprezentációjának meghatározása után a gráfot jelképes értelemben „fel kell vágni” kisebb részgráfokra, majd a részgráfok egyenleteinek megoldása után az egyes részek megoldásait „össze kell kapcsolni” (ha szükséges, akár több lépésben is), ami az eredeti rendszer megoldásához vezet. A gráf modell egyrészt fontos állomás az eredeti, teljes rendszer egyenleteinek felállításában, másrészt a vágási eljárás megtervezéséhez nyújt segítséget.

A gráfelméletnek és mérnöki alkalmazásának kiterjedt matematikai és műszaki szakirodalma található. A technikai folyamatok leírásához szükséges gráfelméleti alapismeretek olvashatóak

Broinstejn [1] könyvében, valamint Fazekas [2] egyetemi jegyzetében.

A gráfelmélet, mint matematikai apparátus, műszaki alkalmazására láthatunk példákat a Pokorádi [4], [5] és [6] publikációiban.

Péter tetszőleges méretű nemlineáris közúti közlekedési hálózatok modellezési lehetőségét vizsgálta speciális hálózati gráffal, amelyben a gráf csúcsai általánosított szakaszok, a gráf élei pedig a csúcsok közötti kooperációt leíró dinamikus relációk [3].

Munkánk célja, a Pokorádi [4] által kifejlesztett algoritmus alkalmazásának bemutatása az Óbudai Egyetem PowAir pneumobil csapatának Ignite nevű járművének vezérlésén.

A tanulmány az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet a vizsgált vezérlőrendszer mutatja be. A 3. fejezetben az egyes üzemmódokhoz tartozó elérhetőségi mátrixok meghatározásának módszerét mutatja be. A 4. fejezetben a szerzők a gráf-vizsgálat eredményeiből levonható szakmai következtetéseket írják le. Végül, az 5. fejezetben a szerzők összegzik a tanulmányt.

## A VEZÉRLŐ RENDSZER

A motoregység meghajtásához egy  $\varnothing$  100 mm-es 400 mm lökethosszú kettőslöketű pneumatikus munkahengert {1.1} használunk.

A hengerek ki- és befelé mozgását kettő CD12 5/3-as elektromos működtetésű, elővezérelt, középhelyzetben zárt útváltó szelep {9.2} vezérli, melyek egy Texas Instruments által gyártott MSP430G2553, és TM4C123G mikrokontrollerekből, és a hozzá csatolt kapcsolóelektronikáról kapják a vezérléshez szükséges jelet.

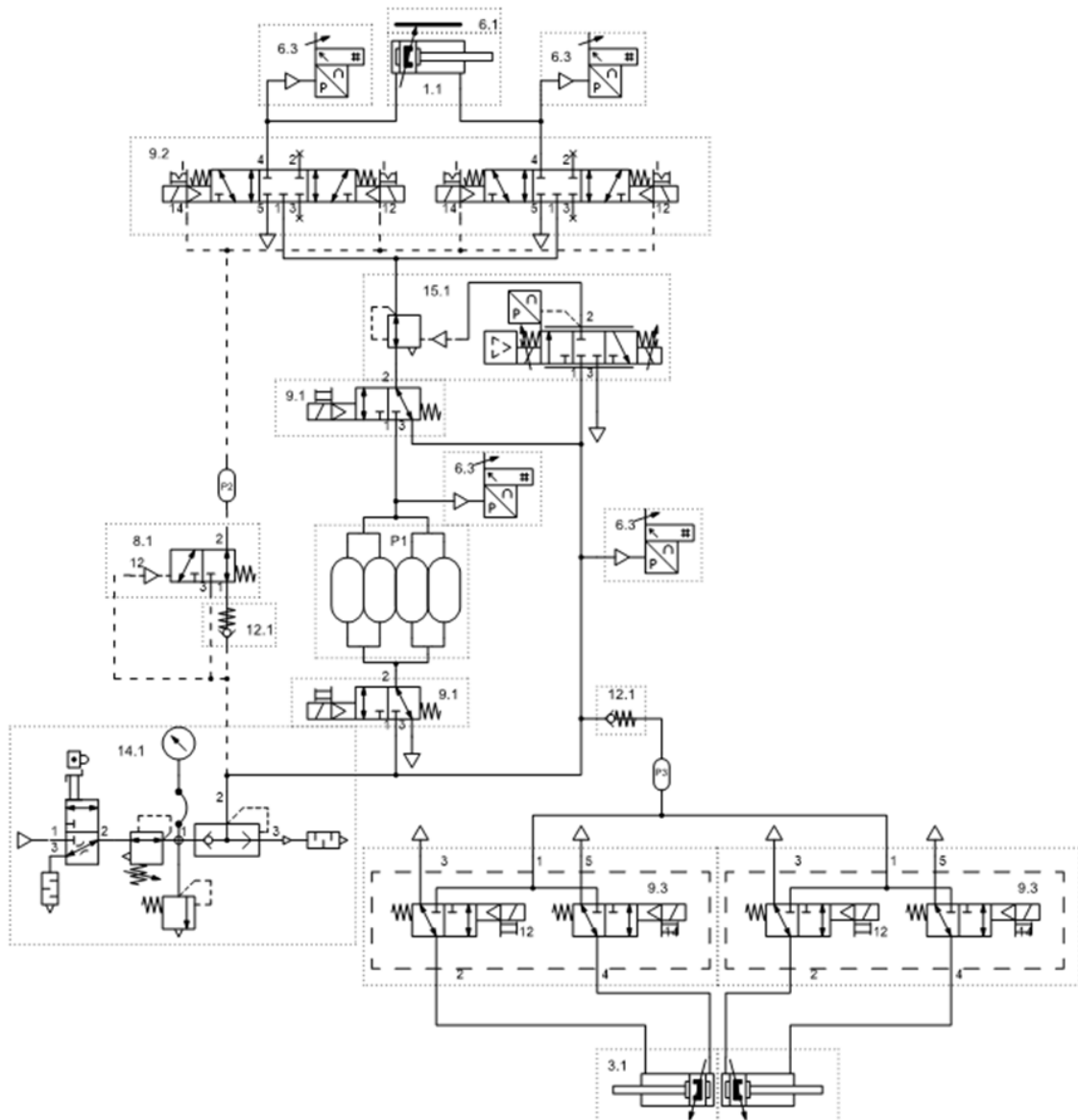
Ezt a rendszert kiegészíti két darab CD12 monostabil 3/2 elektromos működtetésű útváltó szelep {9.1} ami a P1-es pufferek (4×13,38 l) levegőellátásáért és leszellőztetéséért felelnek.

A nyomásszabályzást az elektromos „fokozatmentesen beállítható üzemi nyomás” készletével {15.1} állítjuk, melynek fő részei: 1 db NL4-RGS nyomásszabályozó szelep, 1 db ED02 E/P nyomásszabályozó szelep.

Ezen kívül megtalálható egy CD04 monostabil 3/2 NO/NC pneumatikus vezérlésű szelep {8.1} ami az elővezérlőkör és a P2-es puffer {21} levegőellátásáért felel kiegészítve egy rugós visszacsapó szeleppel {12.1}. A rendszerben található érzékelők: 4 db PE5-ös nyomásmérő szenzor {6.3}, 1 db SM6-AL analóg útmérőszenzor {6.1}.

Távolsági üzemmód esetén a táplevegő lezárása után az egyik 5/3 szelep zárva van, ilyenkor a másik 5/3 szelepeken át tud leszellőzni a rendszer, miközben a henger a mozgását végzi. A rendszerhez tartozik a palack után helyezett reduktor, majd egy vészstop kör {14.1}, mely segítségével lezárható és légteleníthető a teljes rendszer.

A járművön található nyomaték-váltó vezérlését két  $\varnothing$ 16/25-ös kétoldali működtetésű kiegészítő munkahenger {3.1} végzi. Ezeket két TC08 2×3/2 NC/NC elektromos működtetésű szelep {9.3} egyesével működteti.



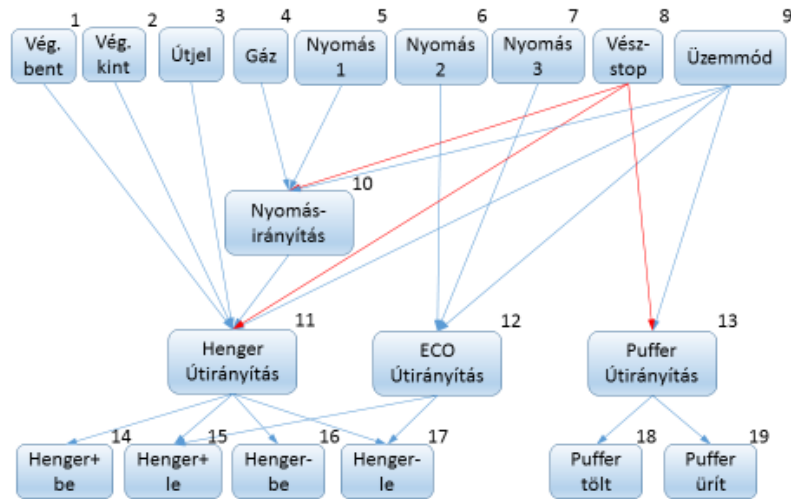
1. ábra A pneumatika sematikus ábrája

A vezérlés több üzemmódot tartalmaz.

A verseny 3 futamára különböző üzemmódokat fejlesztettünk ki. Ezek a futamok:

- ➔ távolsági;
- ➔ ügyességi;
- ➔ és gyorsulási.

A három futamra tervezett üzemmódon kívül van még egy hiba- és egy vészstop-üzemmód is. A vészstop üzemmódon kívül a gázpedálszenzor minden üzemmódban szerepet játszik. Az útszenzor a hiba üzemmód, és a vészstop üzemmód kivételével mindig aktív. A további szenzorok, aktuátorok, és funkciók leírása a következő alfejezetekben található.

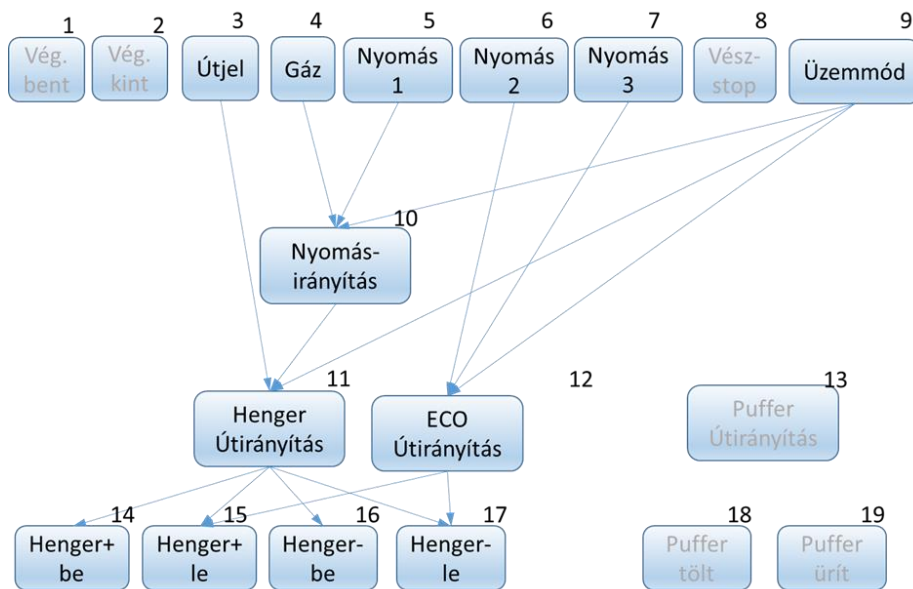


2. ábra A vezérlés sémája

### Távolsági üzemmód

A távolsági futam célja, hogy egy 10 literes palack 200 bar nyomású nitrogénnel a jármű a legnagyobb távolságot tegye meg. ebben az üzemmódban a palackban tárolt energiát a legnagyobb mértékben kell mozgásra fordítani. A verseny során a teljesített körök sebességátlagára nem lehet kevesebb, mint 15 km/h.

Ezt az üzemmódot ECO-módnak is nevezzük. Ezen a futamon az üzemmódkapcsoló ECO állásban van.



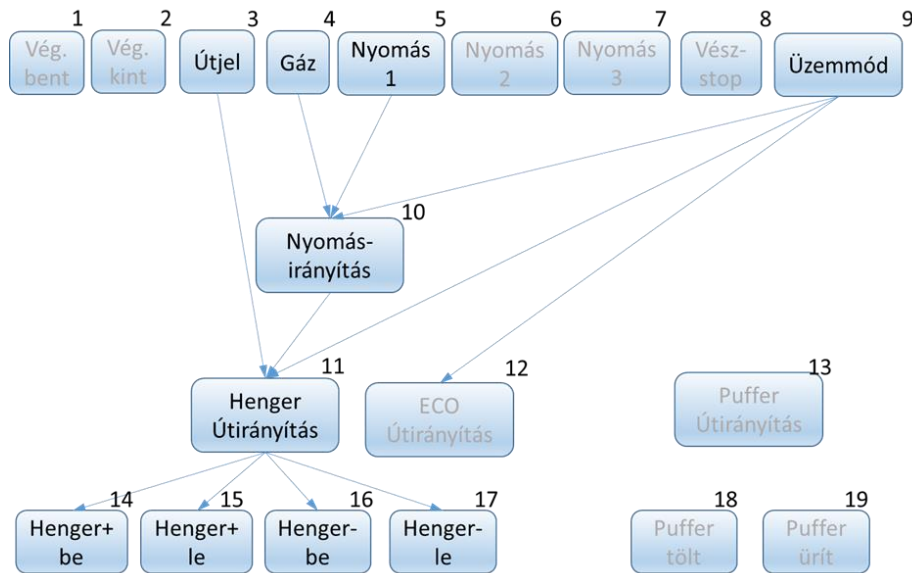
3. ábra Távolsági üzemmód

Ebben az üzemmódban mindhárom nyomá szenzornak szerepe van. nyomás 1 a gázpedálállással együtt a rendszernyomást, nyomás 2 és 3 az ECO üzemmód kiexpandálás-végi nyomásait befolyásolja.

Mint már említettük, tervezési követelmény, hogy technikai (anyagi és rendszer) okból bekövetkező baleseti kockázat nem haladhatja meg az általános baleseti hányados 50%-át.

## Ügyességi futam üzemmód

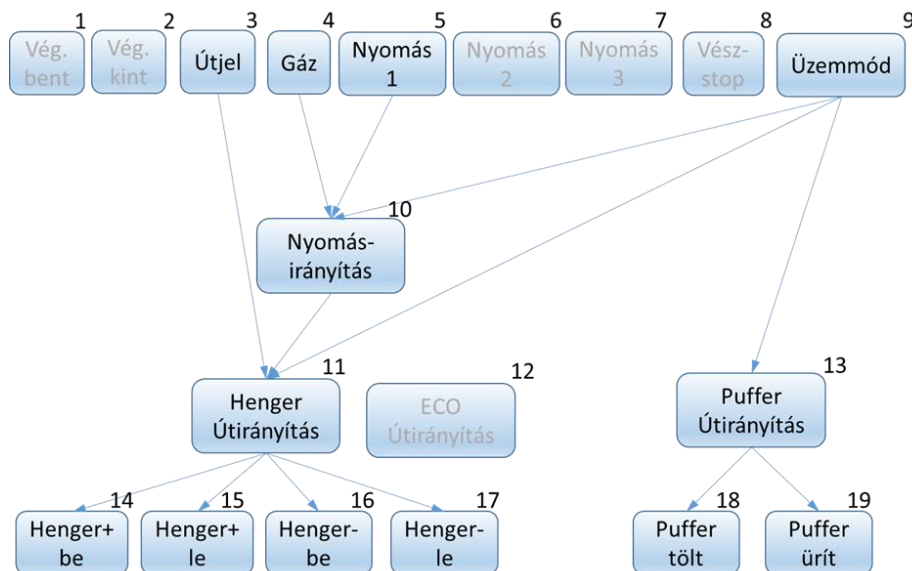
Az ügyességi üzemmód abban különbözik a távolságitól, hogy ebben az esetben nincs ECO mód, ezért a nyomás 2 és 3 szenzoroknak nincs szerepük, továbbá nincs szerepe az expanzió vezérlésnek sem.



4. ábra Ügyességi futam üzemmód

Mint már említettük, tervezési követelmény, hogy technikai (anyagi és rendszer) okból bekövetkező baleseti kockázat nem haladhatja meg az általános baleseti hányados 50%-át.

## Gyorsulási futam üzemmód

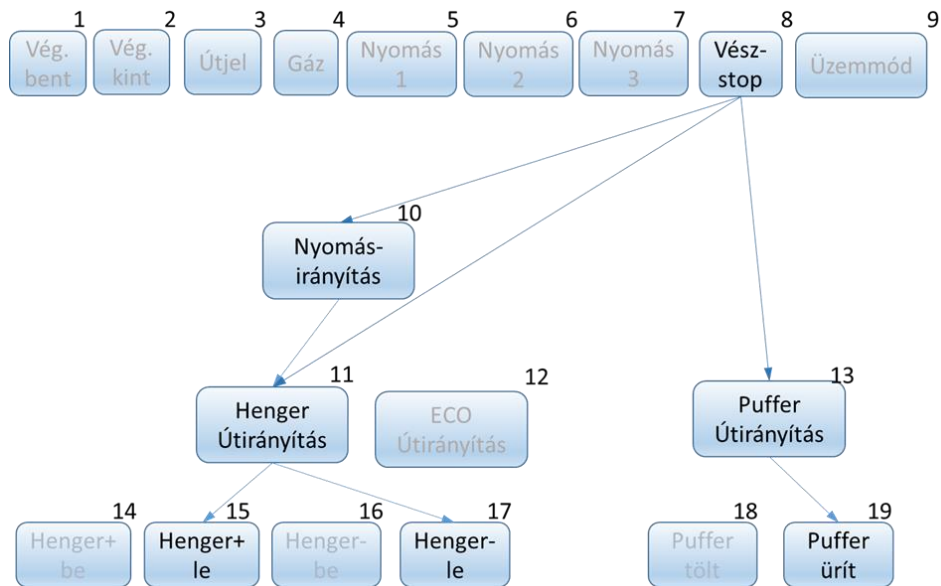


5. ábra Gyorsulási futam üzemmód

A gyorsulási üzemmódban a rendszer levegőellátását a pufferekbe előzetesen betárolt légmenyiség is támogatja. nincs ECO üzemmód, viszont a hengerek vezérlése az ECO, és a gyorsulási üzemhez képest módosult. A hengerek ellenkamrája a dugattyú végpontjának elérése előtt már töltést kapnak, így a henger megfordítása rövidebb idő alatt zajlik le.

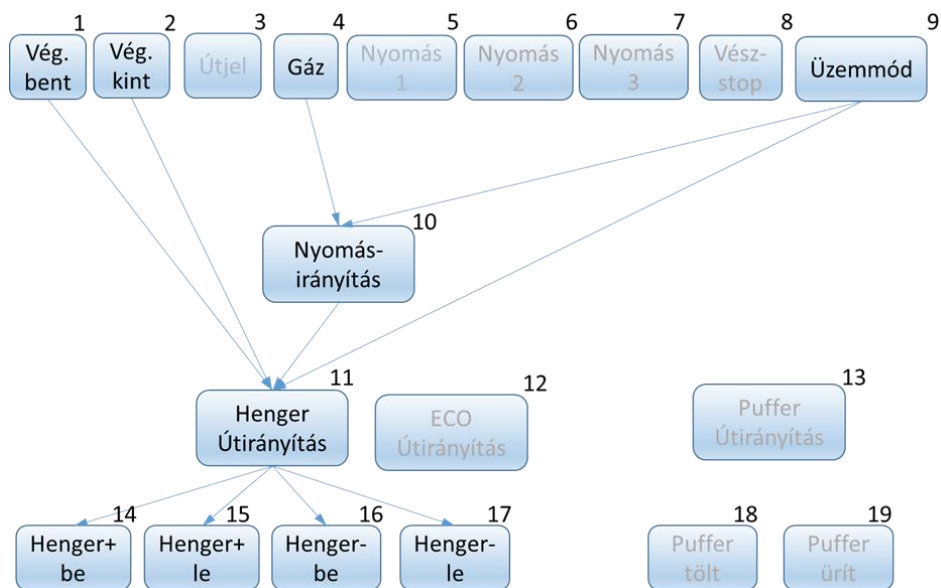
### Vész-stop üzemmód

A vészstop aktiválása esetén a vezérlésnek fel kell oldania a munkahenger reteszelését, le kell ürítenie a puffer tartályt, és meg kell szüntetnie a rendszernyomást.



6. ábra Vész-stop üzemmód

### Hibaüzem mód



7. ábra Hibaüzem mód

Hiba üzemmódban a rendszervezérlés a jármű mozgásához szükséges alapfunkciókat látja csak el. A hengerpozíció érzékelését a lineáris útjel adó helyett 2 darab reed-relés végállás kapcsoló biztosítja. Ezen kívül a gázpedálszenzor ad jelet, a vezérlés pedig ECO, puffer, és minden egyéb segédfunkciók nélkül egy alapvezérlés üzemben dolgozik.

## A RENDSZER GRÁFVIZSGÁLATA

A gráf olyan alakzat, amely  $P$  pontokból és bizonyos pontpárokat összekötő  $E$  élekből áll. Matematikai megfogalmazásban a  $G(P;E;f)$ , ahol  $f$  az illeszkedési leképezés [1], [2].

Írányított gráfról akkor beszélünk, ha az élek végpontjainak sorrendjére is tekintettel vagyunk. Ha nem determinált az élek végpontjainak sorrendje, a gráfot irányítatlannak nevezzük.

A gráfokat általában grafikusán ábrázoljuk. Egy másik ábrázolási, leírási mód a belőlük képezhető különböző mátrixok alkalmazása. A gráf szögpontjai közti kapcsolatokat az úgynevezett csúcs- (szomszédossági-, vagy adjacencia-) mátrixszal lehet táblázatosan megadni. Írányított gráf esetén az  $\mathbf{A}$  mátrix  $i$ -edik sor  $j$ -edik elemének  $a_{ij}$  értéke a  $p_i$  szögpontból induló és a  $p_j$  végpontú élek számát jelöli, azaz:

$$s_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ha a } p_i\text{-csúcsból a } p_j \text{ szögpontra vezet él} \\ 0, & \text{ha nem} \end{cases} \quad (1)$$

### Az elérhetőségi mátrix meghatározása

Az  $\mathbf{A}$  szomszédossági mátrix  $\mathbf{A}_k$ -val jelölt

$$\mathbf{A}_k = \mathbf{A}^k \quad (2)$$

$k$ -adik hatványmátrixának elemei azt mutatják meg, hogy  $k$  lépésben az  $i$ -edik szögpontból a  $j$ -edikbe hány egymástól – a fenti értelmezés szerint – független úton lehet eljutni

A hatványmátrixok

$$\mathbf{H}_k = \sum_{n=1}^k \mathbf{A}^n \quad (3)$$

összegezésével kapott  $\mathbf{H}_k$  összegmátrix elemei azt adják meg, hogy legfeljebb  $k$  lépésben az  $i$ -edik szögpontból a  $j$ -edikbe hány – egymástól független – úton lehet eljutni.

Képezzünk a  $\mathbf{H}_k$  mátrixokból  $\mathbf{S}_k$  jelű mátrixot az alábbi függvény szerint:

$$\mathbf{S}_k = \text{sign } \mathbf{H}_k \quad s_{ij}^{[k]} = \text{sign } h_{ij}^{[k]}, \quad (4)$$

ahol:

$$\text{sign } \eta = \begin{cases} 1, & \text{ha } \eta > 0 \\ 0, & \text{ha } \eta = 0, \\ -1, & \text{ha } \eta < 0 \end{cases} \quad (5)$$

és nevezzük el ezeket a  $\mathbf{H}_k$  mátrix szignum mátrixának, melynek elemei azt adják meg, hogy legfeljebb  $k$  lépésben a gráf  $p_i$  szögpontjából el lehet-e jutni a  $j$ -edik szögpontjába – az (1) egyenlettel megadott elérhetőségi mátrixszal analóg módon – azaz:

$$s_{ij}^{[k]} = \begin{cases} 1, & \text{ha a } p_i\text{-csúcsból a } p_j \text{ szögpontra maximum } k \text{ lépésben elérhető} \\ 0, & \text{ha nem} \end{cases} \quad (6)$$

Egy  $m$  szögpontból álló gráfban a leghosszabb lehetséges él sorozat maximum  $m$  élből állhat, mely – a kiindulási és a vég szögpont kivételével – minden hozzá tartozó szögpontot csak egyszer érint – azaz a lehetséges leghosszabb kör, vagy pálya.

Ha

$$\mathbf{A}^k = \mathbf{N} \quad , \quad (7)$$

ahol  $\mathbf{N}$  a zéró (null) mátrix, a gráf leghosszabb útjának hossza  $k-1$ , azaz a gráfban nem található  $k$ -hosszúságú, valamint annál hosszabb út.

Ha

$$\mathbf{S}_k = \mathbf{J} \quad , \quad (8)$$

ahol  $\mathbf{J}$  az úgynevezett csupa-egyenes mátrix, akkor a gráf minden szögpontja elérhető mindegyik szögpontból.

A fenti három feltétel figyelembevételével határozható meg az elérhetőségi mátrix.

Az elérhetőségi mátrix ismeretében az

$$\mathbf{e} = [e_k] \quad e_k = \sum_{j=1}^m z_{jk} \quad (9)$$

kitettség vektor, illetve az

$$\mathbf{i} = [i_k] \quad i_k = \sum_{j=1}^m z_{kj} \quad (10)$$

hatásvektor meghatározható.

Az  $\mathbf{e}$  kitettség vektor azt mutatja meg, hogy a rendszer mely elemére hat a többi elem közül a legtöbb. Azaz az adott szögponthoz (értésd rendszerelem, vagy folyamatállapot) milyen mértékben érzékeny, kitett a többi rendszerelemben, vagy folyamatállapotban fellépő esetleges meghibásodásra, problémára.

Az  $\mathbf{i}$  hatás vektor azt szemlélteti, hogy az adott rendszerelem meghibásodása mennyi más rendszerelem működésére hat.

A fenti három feltétel figyelembevételével határozható meg az elérhetőségi meghatározásának folyamata, amit a 8. ábrán látható folyamatábra szemléltet, kiegészítve az alábbi elemzésekkel.

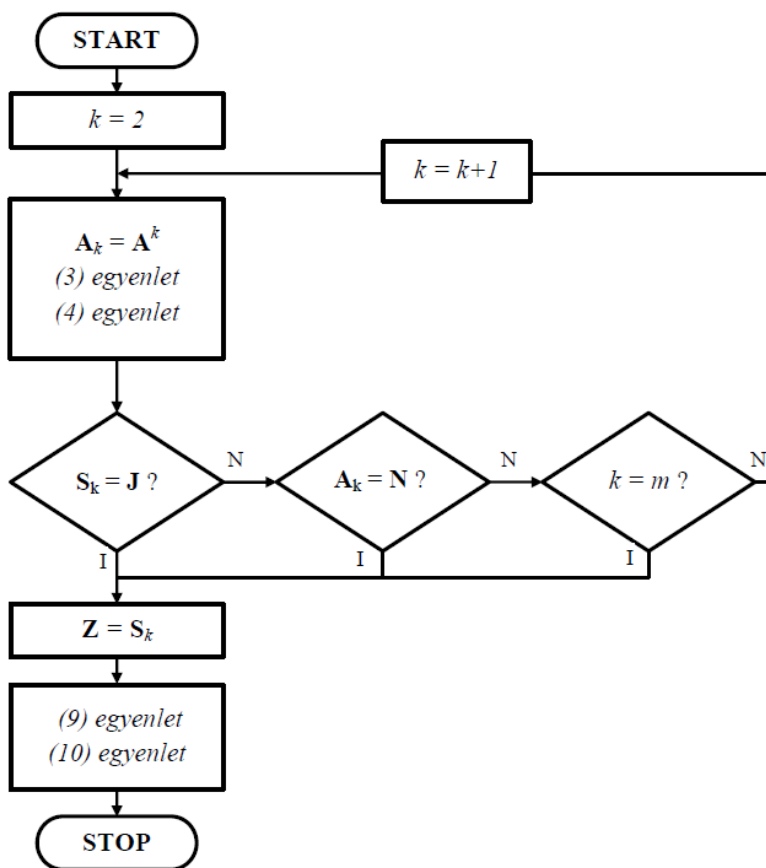
A röviden bemutatott módszert alkalmaztuk a pneumobil vezérlési rendszerének elemzésére. A következőkben a különböző, előzőekben leírt üzemmódokhoz tartozó szomszédossági és elérhetőségi mátrixokat, valamint kitettségi-, és hatásvektorokat adjuk meg. Ezt követően azokat szakmai szempontokból értékeljük.

A 2. fejezetben bemutatott öt üzemmód együttes elemzésére bevezettük az

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_\Sigma &= \mathbf{e}_{\text{ECO}} + \mathbf{e}_N + \mathbf{e}_P + \mathbf{e}_m + \mathbf{e}_{\text{em}} \\ \mathbf{i}_\Sigma &= \mathbf{i}_{\text{ECO}} + \mathbf{i}_N + \mathbf{i}_P + \mathbf{i}_m + \mathbf{i}_{\text{em}} \end{aligned} \quad , \quad (11)$$

összegzett kitettség és összegzett hatásvektorokat.





8. ábra A gráf-modell elemzés folyamatábrája

**Távolsági futam üzemmód**

$$A_{ECO} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

(12)









$$\mathbf{Z}_m = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$\mathbf{e}_p^T = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 2 \ 5 \ 1 \ 0 \ 6 \ 6 \ 6 \ 6 \ 0 \ 0]$$

$$\mathbf{i}_p^T = [5 \ 5 \ 0 \ 6 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 7 \ 5 \ 4 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (26)$$

Az összegzett kitettségi és összegzett impakt vektorok:

$$\mathbf{e}_\Sigma^T = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 12 \ 22 \ 5 \ 2 \ 24 \ 30 \ 24 \ 30 \ 2 \ 4]$$

$$\mathbf{i}_\Sigma^T = [5 \ 5 \ 15 \ 24 \ 18 \ 3 \ 3 \ 6 \ 30 \ 23 \ 18 \ 2 \ 3 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (27)$$

## KÖVETKEZTETÉSEK

A gráf modell és az előzőekben leírt módszer felhasználásával elvégzett elemzés eredményei alapján az alábbi következtetéseket tudjuk levonni.

### A kitettség vektorok

A 2. ábrán mutatott hatásvázlat felső sorban szereplő 1-9-ig jelölt blokkjaiból csak kifelé indul jel, ezért rájuk semelyik más blokk nem hat. Ezek kitettsége tehát nulla. A további blokkok kitettségét funkcióként vizsgáljuk.

A Távolsági (ECO) üzemmódban a legnagyobb, kitettség értékkel a 15 és 17 blokkok ( $e_i = 9$ ), és a 14, 16 blokkok ( $e_i = 6$ ) bírnak. Ez a négy blokk a hengermozgást vezérlő útváltószelepek.

Az Ügyességi (N), Gyorsulási (P), és Hiba (m) üzemmódokban a legnagyobb kitettség értékek 14-17 blokkok, a hengermozgást vezérlő útváltószelepek ( $e_i = 6$ ). A 11-es számú blokknak 5 a kitettsége, ami a hengermozgás útváltószelepeinek vezérlése. Ennek a blokknak bármilyen meghibásodása kritikus rendszerhibát okoz a járműben.

Hiba üzemmódban a legnagyobb kitettség értékek ( $e_i = 3$ ) a 15, és 17-es blokkokra jellemző.

### ***A hatásvektorok***

A vezérlő rendszer összefoglaló sematikus ábráján látható, hogy a 14-19-el jelölt blokkoknak nincs csatlakozása további blokkokkal, ezért azok befolyásolási értékei zérók ( $i_j = 0$ ).

A Távolsági üzemmódban a legnagyobb befolyásolási érték az  $i_j = 5$ , ami a 3-as számú blokk (lineáris helyzetérzékelő), valamint  $i_j = 6$  a 4, és 5 blokkok (gázpedál, és nyomásszenzor 1) esetén

Ügyességi, és Gyorsulási üzemmódokban a legnagyobb befolyásolási értékek  $i_j = 6$  a 4 és 5 (gázpedál, és nyomásszenzor 1) blokkok esetén tapasztalható, illetve a 9-es számú üzemmód választó kapcsoló esetén  $i_j = 7$ .

Hiba üzemmódban a legnagyobb befolyásolási értékek  $i_j = 6$  a 4-es gázpedál szenzor, valamint  $i_j = 7$  a 9-es (programválasztó kapcsoló) esetén ( $i_j = 0$ )

A rendszer összegzett kitettség vektorának legnagyobb értékei, a 14, és 16 elemekre 24, a 15, és 17 elemek esetén pedig 30.

Megállapítható, hogy a hengermozgás vezérlőszelepei a vezérlőrendszer legérzékenyebb részei, vagyis a rendszer további elemeinek meghibásodása ezek funkcióját érintik a leginkább. A vezérelt rendszer funkcióját vizsgálva ezen blokkok kiesése teljes funkciókiesést okoz a rendszerben.

A nyomásirányítás funkció programkód a vezérlő controllerében. Itt fordítási, és kódolási hibellenőrzés javasolt.

## ÖSSZEGZÉS

A tanulmány egy könnyen használható algoritmust és alkalmazási lehetőségét mutatta be az Óbudai Egyetem PowAir pneumobil csapatának Ignite nevű járművének vezérlésének vizsgálatával. A kapott eredmények egyrészt igazolták a mátrixalgebrai elemző módszer alkalmazhatóságát, egyrészt hasznos információkat adott a pneumobilok vezérlő rendszereinek fejlesztéséhez.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Broinstejn, I. N. - Szemengyajev, K. A. - Musiol, G. - Mühlig, H.: Matematikai kézikönyv, Typotex, Budapest (2006).
- [2] Fazekas Ferenc: Alkalmazott matematika II., egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest (1979).
- [3] Péter Tamás: Tetszőleges méretű nemlineáris közúti közlekedési hálózatok modellezése speciális hálózati gráffal, amelyben a gráf csúcsai általánosított szakaszok, a gráf élei a csúcsok közötti kooperálót leíró dinamikus relációk, A jövő járműve, 3. pp. 26-29.
- [4] Pokorádi László: Rendszerek és folyamatok gráfelméleti vizsgálata, Tudományos Kiképzési Közlemények, 1993/2-3, pp. 33-44.
- [5] Pokorádi László: Karbantartás elmélet, DE MFK, Debrecen (2002).
- [6] Pokorádi László: Rendszerek és folyamatok modellezése, Campus Kiadó, Debrecen (2008).

**GRAPH MODELLING OF PNEUMATIC VEHICLE CONTROL SYSTEM**

*Pneumatic drive is an alternative to alternative car protrusion. However pneumatic engine control requires an adequate control system to fulfill all the requirements of being powerful, and economic in the same time. Like in conventional cars, the engine control requires microcontroller control, which is handling sensors data, and controlling actuators, like pressure-, and directional control valves in many driving modes. Thanks to Aventics/Emerson pneumobile competition many ways of vehicle control systems have been developed since 2008, including mechanical, electro-pneumatic, PLC, relays, and so on. Adequate control systems are already available, for all these methods, but flexibility, and reliability issues are forcing us to use different approach of design in order to recognize component impacts, and exposition to other components. Using this method help us to identify the components, which require special attention to make robust, or developing fault tolerant control method to keep up vehicle functionality in case of component failure.*

**Keywords:** vehicle; pneumobil; control system; graph modelling;

---

---

Dr. Szakács Tamás (PhD)  
adjunktus  
Óbudai Egyetem,  
Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
szakacs.tamas@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-7636-7488

---

Tamás Szakács Dr. (PhD)  
lecturer  
Óbuda University,  
Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering  
szakacs.tamas@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-7636-7488

---

---

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

---

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

---

A kutatást a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával megvalósuló EFOP-3.6.2-16-2017- 00016: „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában” projekt támogatta.



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/263/34>



Márton Andrea

## AZ AMERIKAI EGYESÜLT ÁLLAMOK ÉSZAKI-SARK STRATÉGIÁJA

DOI: 10.32560/rk.2019.1.6

*Az Északi-sarkvidék a bolygónk egyik leggyorsabban növekvő területe. Az éghajlatváltozás hatásaira különböző módon reagálnak a régió országai. Egyik lehetőségnek tekinti, addig a másiknak pedig kihívást jelent. Ebben a tanulmányban a szuperhatalom Amerikai Egyesült Államok regionális stratégiáit mutatom be. Kiemeltem néhány fontos kérdést ezekből a stratégiákból, amelyek relevánsak a regionális biztonság szempontjából.*

**Kulcsszavak:** Amerikai Egyesült Államok, Északi-sark, stratégia

### BEVEZETÉS

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

A hidegháború ideje alatt geostratégiai és geopolitikai játszótere volt az Északi-sark régió az USA-nak és a Szovjetunióknak, stratégia bombázók és atommeghajtású tengeralattjárók közlekedtek a jégsapka fölött és alatt. A hidegháború befejeződése után az amerikai politikai, katonai döntéshozók elfordultak a térségtől. A régió kikerült a hivatalos politika fókuszából. Az éghajlatváltozás hatására bekövetkező változások azonban újra felértékeltek a régiót. Most 20 évvel később a diplomaták és a katonai döntéshozók a hidegháború idejétől nagyon is eltérő módon értékelik a régiót.

Az éghajlatváltozás hatásai előtérbe helyezték a geopolitikai számításokat, a potenciális gazdasági lehetőségeket, a környezetvédelmi problémákat, a nemzetközi együttműködést, amelyek hatással vannak a régió biztonságára.

Az arktiszi biztonság szempontjából a gazdasági, jogi és politikai és védelmi szempontokat kell elsősorban figyelembe venni. Az Északi-sark régióban kiemelt figyelmet kell fordítani az Orosz Föderációra, mivel az ország a legjelentősebb arktiszi szereplő. A tanulmányom főszereplője az Amerikai Egyesült Államok jelenleg még nem fordít ilyen kiemelt figyelmet a régióra. Ennek az oka részben az, hogy az ország számos érdekeltséggel rendelkezik a világ más területén. Gazdaságának alapjait adó erőforrások jelentős része pedig nem ebből a régióból származik.

### AZ AMERIKAI EGYESÜLT ÁLLAMOK ÉSZAKI-SARK STRATÉGIÁJA

Az Amerikai Egyesült Államok Északi-sark Stratégiáját 2013-ban jelentették meg. A dokumentum bevezető része így fogalmaz:

*„Az Egyesült Államok arktiszi nemzet, amely széleskörű és alapvető érdekekkel rendelkezik az*

*Északi-sarkvidéken, ahol igyekszünk megfelelni nemzeti biztonsági igényeinknek, védeni a környezetet, felelősségteljesen kezelni az erőforrásokat, figyelembe véve az őslakos közösségeket, támogatni a tudományos kutatást és erősíteni a nemzetközi együttműködést számos kérdésben.” [12]*

A stratégiai dokumentum meghatározza az USA kormányának az Északi-sark régióra vonatkozó prioritásait. A célkitűzések között szerepel, hogy az ország hatékonyan reagáljon a változó környezeti tényezők mellett a kihívásokra és lehetőségekre. Meghatározza az ország nemzetbiztonsági érdekeit is, kihangsúlyozva, hogy az ezzel kapcsolatos döntéseket nemzetközi, kulturális és környezetvédelmi szempontok alapján kell meghozni.

Az Amerikai Egyesült Államoké északi-sarki államnak tekinti magát. Egyedülálló a fekvése, Oroszországgal és Kanadával szomszédos, a Bering-tenger, a Csukcs-tenger és a Beaufort-tenger mellett található. Egyik korábbi tanulmányomban már írtam az orosz-amerikai határkérdésről és a lehetséges megoldásról, azonban az USA Kanadával is a tengeri területek és a víziutak biztosítása miatt határvitát folytat. Ezek a viták nem fognak rendeződni gyorsan, hiszen a részes államoknak az érdekei mást diktálnak.

A kiadott Északi-sark stratégia többször megemlíti, hogy az Egyesült Államok kormánya törekszik és támogatja a tengeri, légi és űrbéli képességek javítását, melyek hatással vannak az ország biztonsági percepcióira. A stratégiai dokumentum szerint az Egyesült Államok nemzeti érdeke, hogy a nemzetközi jog által elismert tenger és légtér valamennyi jogának és szabadságának megőrzése. Ebből a passzusból vezethető le a következő álláspont is:

Az Egyesült Államok fenntartja azt a nézetét, hogy az Észak-Nyugati és az Észak-Keleti Átjáróknak nemzetközi vizeknek kell lenni. A jelenleg érvényes szabályozás alapján az említett vízi utak bel-tengereken haladnak át, így a parti államok joga meghatározni a hajózás feltételeit. A nemzetköziesítés szolgálja az amerikai gazdasági érdekeket és lezárna az Észak-Nyugati Átjáróról szóló vitát Kanadával. További fontos vitapont a kontinentális talapzat iránti igények benyújtásának kérdése, melynek rendezése szintén az amerikai regionális gazdasági érdekek érvényesítését segíti elő.

Itt kell megjegyezni, hogy az USA nem csatlakozott az ENSZ Tengerjogi Konvenciójához [9]. A konvenció által biztosított jogokat így az USA nem tudja teljes mértékben kiaknázni, ugyanakkor kötelezettséget sem vállal. A hivatásos diplomaták és katonai döntéshozók többször figyelmeztették a politikai döntéshozókat, hogy hosszú távon hátrányosan érinti az országot az ENSZ Tengerjogi Konvenciójának el nem fogadása. A kiadott Északi-sark stratégia is javasolja az ENSZ Tengerjogi Konvenciójának elfogadását, mégpedig azért, hogy az amerikai álláspontot alá tudják támasztani, illetve, hogy az alaszakai kontinentális talapzat határát el tudják ismertetni nemzetközi szinten. Amennyiben ez bekövetkezik akkor az itt található olaj, földgáz és egyéb erőforrások felett is rendelkezik az állam. A stratégia megjegyzi, hogy az északi-sarki régió államai azokban az esetekben, ahol tengeri határ menti övezeteik átfedik egymást, megkezdték a kétoldalú megállapodások megkötését az ENSZ Tengerjogi konvenciója és más nemzetközi szabályok alapján.

A stratégia másik kiemelt pontja az energiabiztonság, mely a nemzetbiztonsági stratégia egyik alapvető elemévé vált. Az északi sarkvidéken jelentős, bizonyított és potenciális olaj és földgázforrások vannak, melyek alkalmasak az USA energiaigényének kielégítésére. A sarkvidéki lelőhelyek fejlesztése, valamint a megújuló erőforrások felhasználása megerősíti az ország energiabiztonságát [11].

A dokumentumban hangsúlyosan megjelenő célkitűzés a régió változó környezetének védelme. A környezetvédelmi kérdések megjelennek az őshonos népcsoportok életkörülményeinek javításában, a tudományos és technikai fejlesztések bevezetése körüli vitákban is. A dokumentum kifejti, hogy erőfeszítéseket kell tenni azért, hogy hosszú távon kialakuljanak a fenntartható fejlődés keretei. Olyan támogató tevékenységeket kell kialakítani, amely kezeli az éghajlatváltozás és az egyéb stresszorok kockázatait.

A stratégia kifejti, hogy az Északi-sark környezetvédelmi kérdéseinek megoldása megköveteli a környezet változásainak megértését. A Jeges-tenger óriási területei feltáratlanok és nem sok ismerettel rendelkezünk ahhoz, hogy a felmerülő problémákat kezelni tudjuk. Az itt jelen levő problémákat globális kontextusban tudjuk csak megérteni és kezelni. Az elmúlt években az éghajlatváltozás hatásainak számos összetevőjét azonosították, melyek kiemelt figyelmet kaptak [7]. A nemzetközi kutatási programok eredményei segítettek az időjárás és jég változásainak előrejelzésében, illetve segítséget nyújtottak a természeti erőforrások kiaknázásában. [2] A környezetvédelmi kérdések között szerepel a stratégiában a térség vízi útjainak és belső vizes területeinek feltérképezése, melyeket évtizedekig elfedett a jégsapka. Ennek azért van jelentősége, mert az érzékeny sarki környezetben biztonságosabbá válik a tengeri hajózás és az ökológia érzékeny területeket is meg lehet óvni a további sérülésektől.

Az északi-sark stratégia több pontban is kiemeli a nemzetközi együttműködés fontosságát, amelyről így fogalmaz: „... *Az Egyesült Államok a független cselekvés, a kétoldalú kezdeményezések és a többoldalú együttműködés kombinációjával azonosítja, fejleszti és fenntartja a biztonság, és a stabilitás előmozdításához szükséges kapacitást és képességeket...*” [12].

A dokumentum által megfogalmazott erősödő együttműködés az elmúlt időszakban az Arktisz Tanácson belül valósult meg és amerikai részről főként az energetikai és környezetvédelmi kérdésekre összpontosított.

### AZ ARKTISZ AZ AMERIKAI KATONAI GONDOLKODÁSBAN

Az amerikai védelmi minisztérium stratégiája a 2009-ben kiadott nemzetbiztonsági stratégiára, a Honvédelmi Biztonsági Elnöki irányelvre és az előbbieken már ismertetett 2013-ban kiadott Északi-sarkvidékre vonatkozó stratégiára épül. A védelmi minisztérium 2013-as sarkvidéki stratégiája két átfogó nemzeti szintű dokumentum között helyezkedik el [11]. A minisztérium a 2016-ban kiadott stratégiát a nemzetközi környezetben bekövetkezett jelentős változásokra hivatkozva a Védelmi Felhatalmazási Törvény alapján jelentette meg. A dokumentum kijelenti: „az Északi-sark egy biztonságos stabil régió, ahol az Egyesült Államok érdekei védettek, az Egyesült Államok területét védik, és a nemzetek együttműködnek a kihívások kezelésében.”

A dokumentum szerint a két fő célkitűzés változatlan marad:

„1) *Biztosítsa a stabilitást, a biztonságot, támogassa a védelmi együttműködést; és*

2) *felkészüljön arra, hogy a régió stabilitásának megőrzése érdekében reagáljon a széleskörű kihívásokra, ha lehetséges önállóan vagy a hasonló gondolkodású nemzetekkel együttműködve.*”

A kiadott stratégiában a közeljövő időtávja 2023-ig szól, a középtáv 2020–2030-ig és a hosszútáv 2030-tól kezdődik. A határidők meghatározása közelíti a jövőbeli környezeti, gazdasági

és geopolitikai feltételek bizonytalanságát és az Északi-sarkvidék emberi tevékenységének növekedési ütemét.

A 2016-os sarkvidéki stratégia frissíti azokat a módszereket és eszközöket, amelyek szükségesek a védelmi minisztérium által megfogalmazott célok elérése érdekében, melyekkel az Északi-sark stratégiát hajtja végre. A kitűzött célok között szerepelnek az amerikai erők képességének növelése az ország védelmének és a szuverenitás gyakorlása érdekében, meg kell erősíteni az elrettentést belföldön és külföldön egyaránt, a partnerségek és a szövetségek megerősítése, a tengerek szabadságának megőrzése az Északi-sarkon, a védelmi erők sarkvidéki infrastruktúrájának és képességének fejlesztése a változó feltételekkel és igényekkel összhangban.

A védelmi minisztérium szerint a biztonság széles körű tevékenységeket foglal magában, mint például az erőforrás kitermelés, a halászat, a kereskedelem, a tudományos kutatás és a nemzetvédelem. Az amerikai sarkvidéki katonai célkitűzések támogatják az Északi-sark stratégiában és a sarkvidéki politikában megfogalmazott tágabb nemzetbiztonsági célokat. Az amerikai katonai gondolkodás szerint úgy kell kialakítani a térségben a katonai tevékenységeket, hogy a konfliktusok elkerülhetők legyenek. Ugyanakkor szükséges előrejelezni a felmerülő biztonsági kihívásokat és úgy megválaszolni azokat, hogy elősegítsék az Egyesült Államok nemzetbiztonsági célkitűzéseinek végrehajtását.

A védelmi minisztérium ugyanakkor számos nagyszabású hadgyakorlatot tartott az Északi-sark régióban, együttműködve a sarkvidéki és nem sarkvidéki szövetséges nemzetekkel. A megtartott gyakorlatok célja a felkészülés és az együttműködési képességek javítása volt a rossz időjárási körülmények között.

A kiadott stratégia II. részében a harcoló alakulatok parancsnokait teszi felelőssé a váratlan eseményekre adandó válaszok előkészítéséért és a katonai válaszlehetőségek kidolgozásáért. A tervezéskor a parancsnokok a meglévő erőkre fókuszálnak és velük oldják meg a felmerülő problémákat. A parancsnokok az esetlegesen felmerülő többlet erőforrás igényről tájékoztatják feletteseiket. A védelmi minisztérium szerint a katonai követelmények és képességek fejlesztése fontos szerepet játszik abban, hogy felkészüljön kötelezettségeinek végrehajtására.

A védelmi minisztérium érvényben levő követelményrendszere, amely jelenleg Joint Capabilities Integration and Development System néven ismert, az elsődleges döntéshozatali folyamat a katonai erők fejlesztéséhez. A jelenlegi rendszer egy igényközpontú folyamat, amely azonosítja, értékeli, validálja és prioritásként kezeli a közös katonai képességekkel szemben támasztott követelményeket. A folyamat figyelembe veszi az anyagi és nem anyagi megoldások teljes körét.

Katonai szempontból az Egyesült Államok északi parancsnoksága felelős az északi-sarkvidéki környezetben a működési képességekért. A parancsnokság létrehozta az Arctic Capability Advocacy Munkacsoportot, amelynek feladata, hogy megvizsgálja az azonosított hiányosságokat és legrövidebb idő alatt kialakítsa a rangsort a korlátozott erőforrások beszerzésére. Az északi-sarki katonai feladatok végrehajtásáért két parancsnokság felelős az USNORTHCOM és az USEUCOM. Az USNORTHCOM parancsnoksága szoros partnerségben működik együtt Kanadával. Amennyiben a feladatok és a stratégiai kihívások megkövetelik, akkor az egyes parancsnokságok megosztják információikat a Védelmi Miniszter hivatalán belül és összehangolják a parancsnokságok eljárásait.

Mint ahogy a fentiekből kitűnik, az amerikai katonai gondolkodás még nem tanúsít olyan kiemelt figyelmet a régiónak, mint Oroszország. A katonai szempontok a jelenlegi helyzetben nem kapnak kiemelt prioritást és a feladatszabás és végrehajtás is megoszlik a kijelölt parancsnokságok között.

### AZ EGYESÜLT ÁLLAMOK ÉSZAKI-SARK POLITIKÁJÁNAK VÁLTOZÁSA

Az elmúlt években számos kihívás érte az Egyesült Államok Északi-sark politikáját. 2015. április 24-én vette át az Egyesült Államok az Északi-sark Tanács elnöki tisztét. [13] Az elnökség lehetőséget biztosított arra, hogy a kialakítsa a régió politikai menetrendjét. Az Északi-sark Tanács elnökségi pozíciója nem feltétlenül erőteljes helyzet, azonban az USA-nak arra kellett felhasználni, hogy elősegítse a sarkvidéki gazdasági szabadságot, valamint hogy növelje az Egyesült Államokban a régióval és Alaszkával kapcsolatos fejlesztéseket. Előmozdítsa a régióban a határviták békés rendezésére irányuló munkát, illetve az Európai Unió megfigyelői státusz iránti kérelmének elbírálását. Az Amerikai Egyesült Államok elnöksége idején csak korlátozott előrelépés volt tapasztalható, a következő finn elnökséggel kialakított együttműködés meghatározó jelentőségű volt.

Az Északi-sark biztonságáról már a különböző amerikai stratégiákban sok szó esett, azonban az Egyesült Államok sem tudta a régióval kapcsolatos biztonsági kihívásokat a 2016. évi Varsói NATO csúcstalálkozó témái közé felvetetni [6]. A katonai szövetség, egy olyan biztonsági szervezet, amely garantálja tagjainak területi integritását és magában foglalja az Északi-sark régiót. Továbbá öt tagállama sarkvidéki ország<sup>1</sup>, mégsem rendelkezik közös állásponttal az Északi-sarkvidéken betöltött szerepéről [3]. A korábbi NATO csúcstalálkozók meghatározták az új biztonsági kihívásokat – energiabiztonság, kiberbiztonság – az északi-sark biztonsága nem szerepelt egyikben sem. Az amerikai álláspont az északi-sark gazdasági szabadságáról már ismert. A jelenlegi ismeretek szerint a hajózás, a turizmus, és az erőforrások feltárása a közeljövőben növekedni fog. A régió ásványkincsekben, vadon élő állatokban, halakban gazdag, éppen ezért az alaszki népesség életkörülményeinek javításának legjobb módja a gazdasági szabadságot elősegítő politikák folytatása. A gazdasági szabadság elősegíti a regionális társadalmi és technológiai lemaradás enyhítését. A természeti katasztrófák hatásait csökkentő fejlesztéseket. A gazdasági kihívások között kell megemlítenünk az Alaszki –sarkvidék lakosságának egyedülálló infrastrukturális kihívásokkal kell szembe néznie, mint a kikötők megközelíthetősége, az elégtelen telekommunikációs hálózatok, a speciális időjárási viszonyok közül a kiszámíthatatlan tengeri jég és a hurrikánok. Ezekre a kihívásokra az amerikai politika képes válaszolni, megfelelő jelenlétet és reagálást biztosítani, azonban a parti őrség érvelését, hogy küldetéseik sikeres végrehajtásához három nagy sarki jégtörőre van szükség csak részben fogadta el. A jelenleg használatban levő Polar Star, több mint 40 éves és néhány évvel ezelőtt jelentős javításon esett át, hogy működése fenntartható legyen. A jelenlegi jégtörő hajó várhatóan 2020-ban nyugdíjba vonul [14]. A Kongresszus támogatja a parti őrség képesség fejlesztését a pilóta nélküli eszközök vásárlásával. Ugyanakkor meg kell vizsgálnia minden lehetőséget a jégtörő kapacitás újjáépítésére. Az amerikai politikai döntéshozók ugyan a régióban lezajló változásokat nem veszik félvállról, azonban a

---

<sup>1</sup> USA, Kanada, Norvégia, Dánia és Izland

régiót érintő politikai döntéshozatali rendszer nem változott meg. Az Amerikai Egyesült Államok részére a régiót érintő legnagyobb kihívás, amely rákényszerítheti regionális politikájának gyökeres megváltoztatására az orosz sarkvidéki területek militarizálása. Vladimir Putyin orosz elnök világossá tette, hogy mit gondol a régióról és hogy az mennyire fontos országának [1]. Az új haditengerészeti doktrína [4], amely a sarkvidéki régiót kiemelt területeként kezeli, az Északi Flotta fejlesztése és elhelyezése Pechengai és Murmanszki körzetben. A létrehozott új Arktiszi parancsokság, melynek feladata összehangolni a régióban az orosz katonai tevékenységeket. Hozzá kell tenni, hogy az orosz katonai fejlesztések és a kialakított képességek miatt nem Oroszországnak, hanem más államoknak kell aggódnia. Oroszország már megmutatta, hogy a határain túllevő célok megvalósítása érdekében hajlandó erőszakot alkalmazni. Amennyiben az amerikai északi-sarki regionális politikai érdekmű nem változik meg, akkor az USA a jövőbeli kihívások kezelését képtelen lesz megoldani. Szakértők figyelmeztetnek, hogy még az amerikai döntéshozók sem engedhetik meg, hogy a geopolitikai és geostratégiai okok miatt egyre fontosabbá váló régióban nem biztosítják megfelelően az amerikai érdekeket.

Az elmúlt hónapokban újabb kihívást intézett egy feltörekvő, régió kívüli állam az amerikai érdekek ellen. Ez az ország Kína. Kína új Északi-sark stratégiája egyértelműen fogalmazza meg az ország érdekeit a régióban [8]. A dokumentum szerint a régióban van a harmadik selyem út, a „kék gazdasági átjáró”. Ez azt jelenti, hogy Kína nem katonai erővel, hanem gazdasági érdekeltségeinek növelésével és infrastrukturális beruházásokkal igyekszik növelni jelenlétét a régióban. A kiadott stratégia magas szintű diplomáciai látogatások megkezdését is jelentette. Kínai elnök az elmúlt időszakban találkozott az Északi-sark régió államai közül 7 állam elnökével. Izlandra magas szintű diplomáciai delegáció érkezett a két ország között fennálló gazdasági kapcsolatok további elmélyítése céljából. Az amerikai látogatása során a kínai elnök találkozott az amerikai elnökkel és az alaszakai kormányzóval is. A találkozón Kína új Északi-sark stratégiájáról és a régióban központi kérdésként szereplő témákról a hajózási útvonalokról, az olaj és ásványkincsekről, a halászatról és a turizmusról volt szó. Kínának fejlődő gazdasága miatt szüksége van alternatív erőforrások biztosítására. Az amerikai politikai döntéshozóknak pedig látnia kell, hogy ez a fejlődés növekvő befolyással is jár, amely rövidtávon kihívást jelent, középtávon a régióban az amerikai érdekek sérelmét jelenti.

Az előbbieken ismertetett kihívások és a már megalkotott stratégiák már rövidtávon is változásokat generálhatnak az amerikai politikában. A jelenlegi helyzetben ezek a változások még nem szembetűnőek és csak egy-egy területen jelentek meg. A regionális politika gyökeres változásához még évekre van szükség, illetve valószínűsíthetően olyan mértékű kihívásra, melyre azonnali választ kell adni, nemcsak a belpolitikában, hanem a külpolitikában is.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Articgovernance.org (2010): Prime Minister Vladimir Putin addresses the international forum "The Arctic: Territory of Dialogue" <https://forumarctica.ru/en/news/vladimir-putin-s-speech-at-the-arctic-territory-of-dialogue-international-arctic-forum/>
- [2] Boda et al: Fókusz és együttműködés. A hadtudomány kutatási feladatai. Honvédségi Szemle 2016. 3. sz. 144. évfolyam, 3-19 oldal
- [3] Coffey, L-Kochis D (2016): NATO Summit 2016: Time for an Arctic <https://www.heritage.org/global-politics/report/nato-summit-2016-time-arctic-strategy>
- [4] Government of Russian Federation (2015): Maritime Doctrine of Russian Federation english version

- [https://dnnlwgwick.blob.core.windows.net/portals/0/NWCDepartments/Russia%20Maritime%20Studies%20Institute/Maritime%20Doctrine%20TransENGrus\\_FINAL.pdf?sr=b&si=DNNFileManagerPolicy&sig=fqZgUUVVRrKmsFNMOj%2FNARNawUoRdhvPFJj7%2FpAkM%3D](https://dnnlwgwick.blob.core.windows.net/portals/0/NWCDepartments/Russia%20Maritime%20Studies%20Institute/Maritime%20Doctrine%20TransENGrus_FINAL.pdf?sr=b&si=DNNFileManagerPolicy&sig=fqZgUUVVRrKmsFNMOj%2FNARNawUoRdhvPFJj7%2FpAkM%3D)
- [5] Heininen, Lassi: High North in world politics and changing geopolitics of north [http://www.petrstu.ru/Faculties/Politology/ISSK'10/Heininen\\_High\\_North.ppt](http://www.petrstu.ru/Faculties/Politology/ISSK'10/Heininen_High_North.ppt)
- [6] NATO. int (2016): Warsaw summit Communiqué [https://www.nato.int/cps/en/natohq/official\\_texts\\_133169.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_133169.htm) (letöltési idő: 2018.12.22)
- [7] Padányi József: Éghajlatváltozás és a biztonság összefüggései. Hadtudomány, 2009. 1-2. sz [http://mhdt.eu/hadtudomany/2009/1\\_2/033-046.pdf](http://mhdt.eu/hadtudomany/2009/1_2/033-046.pdf)
- [8] State Council the People's Republic Of China (2018): China's Arctic Policy [http://english.gov.cn/archive/white\\_paper/2018/01/26/content\\_281476026660336.htm](http://english.gov.cn/archive/white_paper/2018/01/26/content_281476026660336.htm)
- [9] United Nation: Convetion on the law of the Sea (1982) <http://www.parlament.hu/irom36/5558/5558.htm>
- [10] US Library of Congress: Treaty with Russia (1867)
- [11] <http://memory.loc.gov/cgi-bin/ampage?collId=llsl&fileName=015/llsl015.db&recNum=572>
- [12] US. Department of Defense (2016): Report to Congress on Strategy to Protect United States National Security Interests in the Arctic Region <https://www.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2016-Arctic-Strategy-UNCLAS-cleared-for-release.pdf> (letöltési idő: 2018.04.26)
- [13] US Gorvernment (2013): National Strategy For The Arctic Region [https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/docs/nat\\_arctic\\_strategy.pdf](https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/docs/nat_arctic_strategy.pdf)
- [14] US Gorvernment (2015): U.S. Chairmanship of the Arctic Council <https://www.state.gov/e/oes/ocns/opa/arc/uschair/>
- [15] Woody C: The Coast Guard turned down a request for an Arctic exercise out of concern the US's only heavy icebreaker would break down and Russia would have to rescue it <https://www.businessinsider.com/coast-guard-arctic-freedom-of-navigation-exercise-polar-star-russia-2018-12>

---

### **HIGH NORTH STRATEGY OF THE UNITED STATES OF AMERICA**

*The Arctic Region is one of the fastest growing areas of our planet. The effects of climate change are responding in different ways to the countries in the region. One of them look at it as an opportunity, while the other as a challenge. In this paper, I show the regional strategies of the superpower United States of America. I highlighted some important questions from these strategies, which are relevant to the regional security.*

**Keywords:** *United States, High North Strategy,*

---

Márton Andrea (PhD)  
Magyar Honvédség Parancsnoksága  
Haderőtervezési Csoportfőnökség  
marton.andrea@mil.hu  
orcid.org/0000-0002-4216-4797

Andrea Marton (PhD)  
Hungarian Defence Forces Command  
Force Planning Directorate  
marton.andrea@mil.hu  
orcid.org/0000-0002-4216-4797

---



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/285/35>





Pokorádi László, Lázár-Fülep Tímea

## KOMPLEX KAPCSOLATÚ JÁRMŰRENDSZEREK MEGBÍZHATÓSÁGI KÉRDÉSEI

DOI: 10.32560/rk.2019.1.7

*Cikkünk szorosan kapcsolódik az EFOP-3.6.2-16 „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában” címet viselő projekthez, amelynek kutatási feladataiban a Széchenyi István Egyetem, a Neumann János Egyetem, a Dunaújvárosi Egyetem és az Óbudai Egyetem konzorciuma vesz részt. Kutatásunk célja olyan matematikai módszerek, eljárások kidolgozása, amelyek támogatják az autonóm járművekben és közlekedési rendszerekben megjelenő és egyre nagyobb bonyolultsági fokot elérő technikai rendszerek és rendszerelemek tervezését a működési biztonság és üzemeltetés kockázati tényezőinek figyelembevételével. Ezek közé tartozik a járművekben alkalmazott szenzorhálózatok megbízhatóságának, illetve a hozzájuk kapcsolódó kockázatok vizsgálati eljárásainak kidolgozása, továbbfejlesztése.)*

**Kulcsszavak:** megbízhatóság, biztonság, járműrendszer, komplex kapcsolat

### BEVEZETÉS

Napjainkban az egyik legfontosabb társadalmi probléma a biztonság, a megbízhatóság és kockázat kérdése. Ez nagy-mértékben érinti a műszaki szakembereket, akik szakmai specifikumuknak megfelelően különböző technikai rendszereket terveznek, építenek és üzemeltetnek.

A szerzők kutatási célja különböző matematikai eszközök és jól algoritmizálható modellek kidolgozása és alkalmazási lehetőségeinek tanulmányozása a komplex kapcsolatú járműrendszerek – mint például a járművek szenzorhálózatai – műszaki megbízhatóság és biztonságtudomány területéhez kapcsolódó döntéshozatalok támogatására. A publikáció célja, a projekt rövid ismertetésén túl, az előzőekben leírt témakör főbb kérdéseinek bemutatása.

A tanulmány az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet az EFOP-3.6.2-16 „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában” projektet mutatja be. A 3. fejezet a tervezés és a megbízhatóság együttes kérdéseit írja le. A 4. fejezetben a komplex kapcsolatú rendszerek megbízhatóság érzékenységeinek vizsgálati eljárása kerül bemutatásra. A tanulmány az 5. fejezetben összegzéssel zárul.

### A KUTATÁSI PROGRAM RÖVID BEMUTATÁSA

Pályázati projektünkben meghatározó célkitűzésünk, hogy a kutatás-fejlesztés feltételrendszerének javítása a kutatásokhoz szükséges humán-erőforrás-, és szolgáltatásfejlesztéssel, illetve a kutatási eredmények felhasználásának és a kutatási tevékenységek hosszú távú finanszírozásának megvalósítása érdekében a gazdasági szférával való együttműködést erősítsük és elősegítsük [6].

A konzorciumi partnerek hosszú távú célja a projektben tervezett közös kutatások megvalósításával az, hogy közös erővel tudjanak aktívabb és kezdeményezőbb szerepet vállalni a tudásalapú

gazdaság kiépítésében és a magyar felsőoktatás kutatás-fejlesztési potenciáljának erősítésében. A kialakított új tudásbázisok alapján kezdeményezik a nemzetközi hálózatokba való bekapcsolódást és együttműködést. Már rövidtávon elérhető célnak tekintik, hogy hálózatos formában együttműködnek, a kapacitásokat összehangolva közös kutatócsoportokat hoznak létre, amelyek szinergikus hatása sokszorosa lehet a jelenleg egyénileg működő intézményi potenciáloknak.

A kutatások konkrét célja az, hogy a partnerintézmények jelentős eredményeket érjenek el az autonóm járművek és járműrendszerek irányításában és kommunikációjában. A pályázók hét, egymással szorosan összefüggő kutatási területet jelöltek ki, amelyeket három kutatási főcsoportba rendezve művelnek. Alapvető módszer a területek integrált szemléletmódú kezelése és a kapcsolódó problémák kölcsönhatásának figyelembevétele, amelynek fontos eleme az egymás erősségein alapuló együttműködés, valamint a közös humánerőforrás-fejlesztés.

A különböző szempontok szerint készült műszaki-gazdasági elemzések egybevágó véleménye szerint az autonóm módú közlekedés megvalósulásának technológiai előfeltételeit a következő felsorolás szerinti rendszerelemek megfelelő működési pontosságot megbízható módon teljesíteni képes, egymással harmonikusan együttműködő rendelkezésre állása alkotja:

- járműfedélzeti környezetérzékelési technológiák, amelyek megfelelő információval látják el a fedélzeti irányítórendszereket bármilyen megvilágítási, út és időjárési körülmények között;
- részben az előbbivel összefüggésben olyan nagy-pontosságú helymeghatározó, lokalizációs technológiák, amelyek a döntési feladatok megoldása során a szenzor adatokat képesek geográfiai információval kiegészítve térbeli összetartozásuk szerint rendezni, szelektálni és a percepciós rendszer számára előkészíteni;
- kommunikációs technológiák, amelyek információs kapcsolatot teremtenek a közlekedés szereplői és az őket magába foglaló infrastruktúra, illetve általánosabban a befoglaló környezet elemei között;
- percepciós módszerek, amik lehetővé teszik a szenzorok és kommunikáció által szolgáltatott adatok alapján valós közlekedési szituációkban a döntési helyzetek valós időben történő elemzését és az adott helyzethez igazodó módon az irányítórendszer támogatását;
- alacsony szintű járműirányítási algoritmusok, amelyek az egyes járműpéldányok komplex, lokális irányítási feladatait látják el, ideértve a percepciós algoritmusok alapján a döntések valós időben való meghozatala révén az aktuátorok működtetését annak érdekében, hogy a jármű számára meghatározott szállítási misszió biztonsággal és megkövetelt performanciával teljesíthető legyen;
- magas szintű járműirányítás, amely általános szempontok szerint járműcsoportok irányítását teszi lehetővé komplex közlekedésirányítási feladatok valós idejű megoldása, a misszióbiztonság megteremtése és globális optimum feltételek teljesítése révén, illetve érdekében;
- a teljeskörű automatizáltság igényeihez jobban alkalmazkodni képes innovatív anyag-szerkezetek, jármű hajtások és energiahordozók alkalmazása.

Célunk a fentiekben felsorolt, egymással szorosan összefüggő kutatási területek szinergiáinak három fő feladatba szervezett kutatása a területek integrált szemléletmód alá helyezése és a kapcsolódó problémák kölcsönhatásának figyelembevétele révén. A célok meghatározása a

kiírásban meghatározott projektelemek mentén történt és egyértelműen, részletesen meghatározásra kerültek, valamint a felhívásban meghatározott konkrét célokhoz is illeszkednek.

## **TERVEZÉS ÉS MEGBÍZHATÓSÁG**

A koncepció fázisban végrehajtott megbízhatósági vizsgálat alapvetően befolyásolja a megfelelő rendszerarchitektúra kiválasztását figyelembe véve a különböző forrásból érkező követelményeket, legyen az törvényi, ill. jogszabályi, vevői vagy a cég által meghatározott, úgynevezett belső előírás. A rendszer-tervezés mindig a követelmények meghatározásával kezdődik, majd a specifikáció folyamán ezek lefordításra kerülnek a rendszer paramétereinek szempontjából. Minden potenciális és ismert hibamód, azok okai és következményei azonosíthatóak a hibamód- és hatáselemzés (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis) módszerének alkalmazásakor [2].

### **Kvalitatív megbízhatósági elemzési megközelítés**

Az eljárás előzetes gondolkodás által megelőző módon biztosítja a lehetséges gyenge pontok megtalálását, azok jelentőségének felmérését, kiértékelését és megfelelő időben megfelelő intézkedések bevezetését azok elkerülését, illetve felismerését segítő céllal. A gyenge pontok szisztematikus elemzése és a kiváltó okok megszüntetése a kockázat minimalizálásához vezet, amely által csökken a hiba által okozott költség, valamint megnő a megbízhatóság. A módszer sajátossága, hogy mindig csak egy pillanatnyi hibát elemez, nem hibakombinációkat, amelyek kezelése a kvantitatív megközelítésű hibafa-elemzéssel lehetséges.

Az elemzés, mintegy mellékhatásaként, segíti a rendszert, a folyamatokat leírni és általa jobban megérteni, miközben egy dokumentumot eredményez mindarról, amivel foglalkoztunk, arról, ahogy a rendszer vagy folyamat működik (tudásbázis felépítése).

### **A funkció- és rendszerstruktúra felépítése**

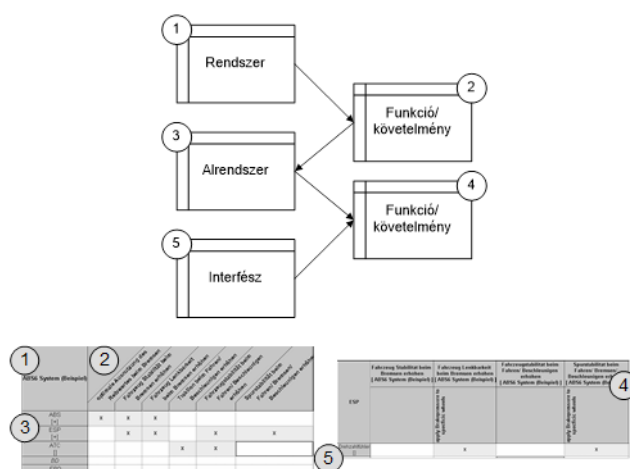
Ahhoz, hogy az adott architektúra elemzése szisztematikus és strukturált legyen, szükséges mind a funkciók, mind a rendszert felépítő alrendszerek és komponensek megfelelő felbontása, amely támogatja a rendszer teljes körű vizsgálatát anélkül, hogy bármelyik alkotóelem kimaradna. Egy úgynevezett mátrix FMEA felépítésének előnye, túl azon, hogy a rendszert, mint faszerkezetet mutatja be, hogy lehetséges a funkció- és a rendszerstruktúra párhuzamos kibontása, amely magában a mátrixban kapcsolódik utána össze [3].

A legfelső szinten (1. ábra) csak a rendszerrel szemben támasztott törvényi, vevői, belső követelmények rendszerezése szerepel, amelyek a későbbiekben kapcsolódnak az alrendszerekhez.

Komponensek nem szerepelnek a rendszerszintű funkció-összeköttetésekben. A mátrix rendszerének felépítése a következő három kérdéson alapul:

- Mi az elemzendő rendszer vagy termék?
- Milyen előírásoknak, szabványoknak, vevői elvárásoknak kell a rendszernek megfelelnie (funkciók és/vagy követelmények)
- Melyek a rendszert vagy terméket felépítő alrendszerek és ezekhez milyen funkciók rendelhetőek hozzá (közvetlenül vagy közvetetten)?

Ezt a megközelítést használva az elsődleges követelmények és a rendszert felépítő alrendszerek kapcsolatait X jelöli, amelyek a funkciók esetén közvetlen, a hibák szempontjából közvetett hozzárendelést jelentenek.



1. ábra Rendszerszintű funkciófelosztás (részlet)

A komponensek alkotják azt a felületet, ahol a System FMEA és a Design FMEA látható módon összekapcsolódik. Ez egyben jelenti a két elemzés szétválasztását és összekapcsolását is. A hibalánc a hibaok – hiba(mód) – hibahatás sorozatát szemlélteti.

Terméktervezés (Design) FMEA során a lehetséges hibákat, amelyek a rendszer egyes komponenseinél léphetnek fel, a D-FMEA segítségével lehet szemügyre venni és előrelátó módon elkerülni [7]. A hibaokokat itt elsődlegesen a konstrukció okozhatja, de a gyártás milyenségétől is függhetnek azok.

Ilyen módon tehát lehetséges a különböző FMEA-k párhuzamos lefutása a fejlesztési folyamat bizonyos fázisában, amely a koncepció FMEA (a komponensek rendszerre gyakorolt hatásának vizsgálata) kivitelezését teszi lehetővé.

A már említett előnyökön kívül további haszonnal számolhatunk egy ilyen elemzés elvégzésekor, beleértve egy szisztematikus megközelítést a hardverhibák csoportosítására, a fejlesztési idő, költség és tervváltozatok csökkenését, könnyen érthetőségét, hatékonyabb tesztervezést, a biztonságra való nagyfokú odafigyelést, illetve a növelt vevői elégedettséget. Hatékony eszköz kis, nagy és komplex rendszerek elemzésére is, hasznos módszer költséghatékony megelőző karbantartó rendszerek fejlesztésekor, biztosíték a jövőben újra felbukkanó hibák ellen, összehasonlíthatóak általa elemzett rendszerek, megjelenítése segítség a vezetőnek, továbbá a részletezett szinttől felfelé halad és fejleszti a kommunikációt a design elemzés területével.

## KOMPLEX KAPCSOLATÚ RENDSZEREK MEGBÍZHATÓSÁGA

A kanonikus rendszerek lényegi tulajdonsága az, hogy az egyes elemek vizsgálatakor „csak” két üzemállapotot különböztetünk meg: üzemképes, vagy üzemképtelen [3]. Az ilyen rendszerek esetében az elemeket az alábbi két paraméterrel jellemezzük:

- az  $r_i$  megbízhatóságukkal, azaz a hibamentes működésük valószínűségével;
- a  $p_i$  meghibásodási valószínűségükkel.

Mivel e két állapot alkotja a teljes eseményteret (mivel a rendszer kanonikus), az alábbi egyenlőség írható fel:

$$p_i = 1 - r_i \quad (1)$$

Egyszerű felépítésű kanonikus rendszerek megbízhatóság-elemzésének egyik legelterjedtebb módja a Hibafa-elemzés.

A hibafa-elemzés során egy feltételezett rendszerhibából, az úgynevezett főeseményből (top event) indulunk ki, és fokozatosan derítjük fel azokat az alkotóelem és/vagy rész-rendszer meghibásodási lehetőségeket, melyek az adott, nem kívánt esemény bekövetkezéséhez vezetnek vagy vezethetnek.

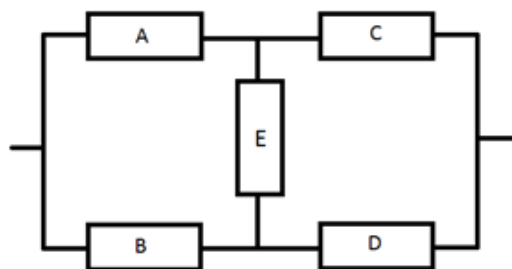
Az elemző munkát fastruktúrájú gráf megjelenítés segíti, amit különböző, például megbízhatósági számításokkal is ki lehet egészíteni. Egy (nem elemi) esemény bekövetkezési valószínűsége meghatározható az azt kiváltó események – melyek lehetnek elemi vagy alacsonyabb szintű közbülső események – bekövetkezési valószínűségeinek, illetve a köztük lévő logikai kapcsolat ismeretében Myers megfogalmazása szerint az a rendszer, amely nem csak egyszerű kölcsönös kapcsolatokkal bír, tekinthetőek komplex rendszereknek [5].

A komplex kapcsolatú kanonikus rendszerekben az elemek közt található összetett kapcsolatok következtében a hibafa elemzés során a közbülső események nem tekinthetőek független eseménynek, azaz a hibafa elemzési eljárás nem megfelelő. Az ilyen struktúrájú rendszer vagy hálózat megbízhatóságának meghatározására egyik megoldásként a Boole-féle igazságtáblázatot célszerű alkalmaznunk.

A komplex kapcsolatú kanonikus rendszerekben az elemek közt található összetett kapcsolatok következtében a Hibafa-elemzés vagy Blokkdiagram-elemzés során a közbülső események nem tekinthetőek független eseménynek. Az ilyen struktúrájú rendszer vagy hálózat megbízhatóságának meghatározására egyik megoldásként a Boole-féle igazságtáblázatot célszerű alkalmaznunk.

A korszerű gépjárművekben egyre nagyobb mértékben alkalmazott szenzorok alapvetően híd struktúrával rendelkeznek. Az úgynevezett hídmódszerrel való mérés az egyik legpontosabb mérési módszer úgy egyenáramú, mint váltakozó áramú áramkörökben. A leggyakrabban használt híd a Wheatstone-híd, mellyel nem csak ellenállásokat, hanem ellenállás-változásra visszavezethető nem-elektromos mennyiségeket (hőmérsékletet, erő, deformáció, nyomás, nyomaték vagy elmozdulás) is lehet mérni [8].

Általában a híd négy ellenállásból áll, melyeket egy négyzet oldalai mentén helyezünk el; a hidat az egyik átló mentén tápláljuk egyenfeszültséggel, a másik átlójára pedig egy galvanométert kötünk. A Wheatstone-híd elvi megbízhatósági rajza a 2. ábrán látható.



2. ábra Wheatstone-híd elvi megbízhatósági rajza

A teljes rendszer lehetséges állapotait, illetve ezen állapotok bekövetkezési valószínűségeinek meghatározását szemlélteti a 2. táblázat, ahol az állapotokat jelző oszlopokban az 1 üzemképes, a 0 pedig hibás, működésképtelen állapotot jelöl.

Mivel a rendszer az 1; 2; 3; 4; 5; 7; 9; 10; 13; 17; 18; 19; 20; 21; 25 és 29 rendszerállapotok esetén üzemképtelen, így annak valószínűsége a

$$P_{rendszer} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_7 + Q_9 + Q_{10} + Q_{13} + Q_{17} + Q_{18} + Q_{19} + Q_{20} + Q_{21} + Q_{25} + Q_{29} \quad (2)$$

összeggel határozható meg. Az 1. táblázat a rendszer üzemképtelenségének valószínűségeit tartalmazza különböző elem meghibásodási valószínűségek esetén.

$p_i$	$P_{rendszer}$
0,10	$2,15 \cdot 10^{-2}$
0,05	$5,20 \cdot 10^{-3}$
0,01	$2,02 \cdot 10^{-4}$

1. táblázat Az éves üzemanyag költség

A módszer hátránya, hogy a rendszer lehetséges állapotainak száma exponenciálisan növekszik az elemek száma függvényében. Ez viszont azt jelenti, hogy ez a Boole-féle igazság-táblázat módszer egy nagy kiterjedésű járműszenzor-hálózat – amely egyértelműen komplex kapcsolatú – nehézkesen alkalmazható.

## ÖSSZEGZÉS

Tanulmányunk bemutatta az EFOP-3.6.2-16 „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában” projektet. A projekten belül az Óbudai Egyetem Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet a szenzorok és szenzorrendszer-hálózatok feltérképezésére, majd megbízhatóság-, és biztonság szempontú elemzésére. Például ez utóbbi problémakört vizsgálja a [8] publikáció.

A Szerzők célja az autonóm járművekben, közlekedési rendszerekben megjelenő komplex kapcsolatú rendszerek és rendszerelemek tervezését a működési biztonság támogató matematikai módszerek, eljárások kidolgozása. Ezek közé tartozik a járművekben alkalmazott szenzorhálózatok megbízhatóságának, illetve a hozzájuk kapcsolódó kockázatok moduláris érzékenységvizsgálati eljárásainak kidolgozása, továbbfejlesztése.

$j$	Elem					Rendszer	$Q_j$
	A	B	C	D	E		
1	0	0	0	0	0	0	$P_A P_B P_C P_D P_E$
2	1	0	0	0	0	0	$r_A P_B P_C P_D P_E$
3	0	1	0	0	0	0	$P_A r_B P_C P_D P_E$
4	1	1	0	0	0	0	$r_A r_B P_C P_D P_E$
5	0	0	1	0	0	0	$P_A P_B r_C P_D P_E$
6	1	0	1	0	0	1	
7	0	1	1	0	0	0	$P_A r_B r_C P_D P_E$
8	1	1	1	0	0	1	
9	0	0	0	1	0	0	$P_A P_B P_C r_D P_E$
10	1	0	0	1	0	0	$r_A P_B P_C r_D P_E$
11	0	1	0	1	0	1	
12	1	1	0	1	0	1	
13	0	0	1	1	0	0	$P_A P_B r_C r_D P_E$
14	1	0	1	1	0	1	
15	0	1	1	1	0	1	
16	1	1	1	1	0	1	
17	0	0	0	0	1	0	$P_A P_B P_C P_D r_E$
18	1	0	0	0	1	0	$r_A P_B P_C P_D r_E$
19	0	1	0	0	1	0	$P_A r_B P_C P_D r_E$
20	1	1	0	0	1	0	$r_A r_B P_C P_D r_E$
21	0	0	1	0	1	0	$P_A P_B r_C P_D r_E$
22	1	0	1	0	1	1	
23	0	1	1	0	1	1	
24	1	1	1	0	1	1	
25	0	0	0	1	1	0	$P_A P_B P_C r_D r_E$
26	1	0	0	1	1	1	
27	0	1	0	1	1	1	
28	1	1	0	1	1	1	
29	0	0	1	1	1	0	$P_A P_B r_C r_D r_E$
30	1	0	1	1	1	1	
31	0	1	1	1	1	1	
32	1	1	1	1	1	1	

2. táblázat Wheastone-híd üzemképtelen állapotának igazságtáblája

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Boucetta, Sara Imene - Johanyák, Zsolt Csaba - Pokorádi, László: Survey on software defined VANETs GRADUS 4:(1) pp. 272-283.
- [2] Koncz Annamária, A Hibamód- és Hatáselemzés alkalmazása napjaink autóiiparában, Bánki Közlemények (megjelenés alatt)
- [3] Koncz, Annamária: A 8D problémamegoldó technika, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK 2015/3 pp. 7-17.
- [4] Koncz, Annamária: A lean szemlélet eszköztára, Gradus 4: 1 pp. 229-241
- [5] Myers, Albert: Complex System Reliability, Springer-Verlag, London, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-84996-414-2>
- [6] Pályázati felhívás a felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelésére: Tematikus kutatási hálózati együttműködések – EFOP-3.6.2-16.
- [7] Pokorádi László - Fülep Tímea: Reliability in Automotive Engineering by Fuzzy Rule-Based FMEA Proc. of the FISITA 2012. pp. 793-800. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-33805-2\\_64](https://doi.org/10.1007/978-3-642-33805-2_64)
- [8] Tuloki, Szilárd - Nagy, István: Elektromos gépjárművek szenzorhálózatának feltérképezése és biztonsági elemzése, Műszaki Tudományos Közlemények. 9. pp. 243-247. DOI: <https://doi.org/10.33895/mtk-2018.09.56>
- [9] Zentai, Dániel: Gráfelméleti módszerek a kritikus infrastruktúra védelemben, Hadmérnök, 2018/2. pp. 341-347.

---

### RELIABILITY ISSUES OF VEHICLE SYSTEMS WITH COMPLEX INTERCONNECTIONS

*This paper is closely connected to EFOP project called Dynamics and Control of Autonomous Vehicles meeting the Synergy Demands of Automated Transport Systems (EFOP-3.6.2-16-2017-00016), in which the following research consortium is taking part: Széchenyi István University, John von Neumann University, University of Dunaujváros and Óbuda University. The aim of the research is to elaborate mathematical methods and procedures which support design of technical systems and system elements with increasing complexity introduced in autonomous vehicles and transportation systems taking into operational safety and maintenance risk factors into account. This includes investigation of reliability and development of the joint risk assessment methods of vehicle sensor networks.*

**Keywords:** *reliability, safety, vehicle system, complex interconnection*

---

---

Dr. Pokorádi László (CSc)  
egyetemi tanár Óbudai Egyetem  
Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
[pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu](mailto:pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu)  
[orcid.org/0000-0003-2857-1887](https://orcid.org/0000-0003-2857-1887)

---

László Pokorádi Dr. (CSc)  
Full professor Óbuda University  
Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering  
[pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu](mailto:pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu)  
[orcid.org/0000-0003-2857-1887](https://orcid.org/0000-0003-2857-1887)

---

Lázár-Fülep Tímea (PhD)  
egyetemi adjunktus Óbudai Egyetem  
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki  
Kar  
[lazarfulep.timea@bgk.uni-obuda.hu](mailto:lazarfulep.timea@bgk.uni-obuda.hu)  
[orcid.org/0000-0003-1164-9828](https://orcid.org/0000-0003-1164-9828)

---

Tímea Lázár-Fülep (PhD)  
assistant professor Óbuda University  
Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering  
[lazarfulep.timea@bgk.uni-obuda.hu](mailto:lazarfulep.timea@bgk.uni-obuda.hu)  
[orcid.org/0000-0003-1164-9828](https://orcid.org/0000-0003-1164-9828)

---



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/86/36>



Domán László

## AZ AIRBUS H145M HELIKOPTER ÉS A TÚLÉLŐKÉPESSÉG

DOI: 10.32560/rk.2019.1.8

*A cikkben a H145M típusú könnyű, többcélú helikoptert kívánom bemutatni. A fejlesztés, majd főbb harcászati-technikai jellemzők leírását követően, a helikopter túlélőképesség szempontjából történő elemzésével foglalkozom. Részletezve a szerkezeti felépítést, a különböző önvédelmi eszközöket, végezetül a jelenleg alkalmazott fedélzeti fegyvereket.*

**Kulcsszavak:** túlélőképesség, helikopter, önvédelmi eszközök, fegyverzet

### BEVEZETÉS

A Magyarország a Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretében 2018-ban megrendelt a HForce fegyverrendszerrel ellátott 20 db H145M helikoptert (1. ábra) az Airbus Helicopters vállalattól. A beszerzés célja többek között a szárazföldi csapatok támogatása érdekében a lassan üzemidejük és rendszerben tarthatóságuk végső határidejét elérő szovjet gyártású helikopterek kiválása miatt, a helikopterflotta megújítása [1].

A publikációban a szerző arra keresi a választ, hogy ennek a helikopter típusnak a túlélőképességet növelő technikai megoldásai, hogyan járulnak hozzá a Magyar Honvédség forgószárnyas képességének megújításához, mivel a helikopterek harctéri túlélésének biztosítása elsődleges fontosságú feladat a műveletek tervezésben és a végrehajtásában egyaránt.



1. ábra Az Airbus H145M helikopter [2]

## AZ AIRBUS H145M HELIKOPTER FEJLESZTÉSE ÉS VÁLTOZATAI

### Előzmények

A német MBB<sup>1</sup> és a japán Kawasaki által kifejlesztett BK117 kéthajtóműves könnyű helikopter prototípusának első repülése 1979-ben volt, ezt követően a 2004-es sorozatgyártásáig több száz ilyen helikoptert gyártottak. A BK117 típust a mai napig is számos helyen használják rendvédelmi, kutató-mentő, egészségügyi és szállítási feladatokra egyaránt. A 1990 években, népszerűségének köszönhetően a típust tovább fejlesztették. Ennek során a gyártó EC135 helikopterének modern avionikai rendszereit és fülke kialakítását felhasználva kombinálták az előd BK117 C1 verziójának jól bevált hagyományos elrendezésű farok részével, így kialakítva az új típust, amely a BK117 C2 jelölés mellett 1997-ben megkapta a típus alkalmassági bizonyítványt. Ezt követően 1999-ben a kedvezőbb marketing célok érdekében a helikopter megkapta az EC145 típus jelzést [3].

Az EC145-nek számos előnye volt az elődjéhez képest, köztük a nagyobb hatótávolság és nagyobb hasznos teherbírás, illetve jelentősen megnövekedett kabin méret, a csökkent rezgés- és zajkibocsátás, valamint jelentősen egyszerűsödött a karbantartás és csökkentek az üzemeltetési költségek. Az EC145 zaj kibocsátása 60%-kal alacsonyabb volt, mint például az BK 117 C1 helikopteré [4].

### További fejlesztések

A következő években az Eurocopter elkezdte az EC145 továbbfejlesztését és 2011-ben EC145 T2 néven bemutatta az új típust. A tervezésnél jelentősen növekedett a helikopter teljesítménye, köszönhetően az új Arriel 2E hajtóműveknek és a modernizált forgószárny és faroklégsavar kialakításnak. A helikopter avionikai rendszereinél számos fejlesztés történt, legjelentősebb ezek közül talán a 4 csatornás robotpilóta alkalmazása volt. 2014-ben az EC145 T2 típus megkapta az EASA<sup>2</sup> és FAA<sup>3</sup> típus alkalmassági bizonyítványát. Ezt követően 2015-től immár Airbus helikopterként, a H145 néven gyártják. Szintén ebben az évben mutatták be az EC145e típust, amely az EC145 T2 tömegében könnyített és olcsóbb verziója, amit néhány avionikai rendszer elhagyásával oldottak meg. Az EC145e esetében az EASA 2015 tavaszán adta ki a típus alkalmassági bizonyítványt [4].

### Katonai változat

2006-ban az UH-145, az EC145 katonai verzióját választották ki az Egyesült Államok hadsereg könnyű támogató helikoptereként. Az Amerikai Védelmi Minisztérium az UH-72 Lakota néven rendszeresítette a helikoptert. 2014-ben volt az EC645 T2, a EC145 katonai verziójának első teszt repülése. Az EC645 T2-t a katonai feladatok ellátása érdekében fegyver függesztési pontokkal, elektronikai ellentevékenységi rendszerrel, elektronikai támogató rendszerrel, a teher emelés és rögzítés céljából ereszkedőkötéllel, teherkampóval és csörlökkel szerelték fel. 2015-ben Airbus H145M néven kapta meg az EASA típus alkalmassági bizonyítványát [5].

---

<sup>1</sup> MBB – Messerschmitt–Bölkow–Blohm

<sup>2</sup> EASA: European Aviation Safety Agency, Európai Repülésbiztonsági Ügynökség

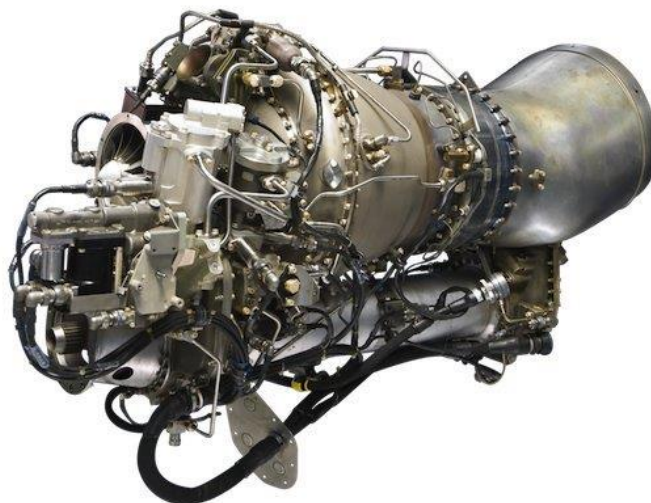
<sup>3</sup> FAA: Federal Aviation Administration, Szövetségi Légügyi Hivatal

## AZ AIRBUS H145M FŐBB HARCÁSZATI-TECHNIKAI JELLEMZŐI

### Sárkány-hajtómű

A H145M nagyobb belső térrel rendelkezik, mint az első BK 117 C1, a helikopterben a pilótákon kívül, speciális ülés kialakításnak köszönhetően 10 fő katona elhelyezése lehetséges. A 46 cm hosszúság és 13 cm szélesség növekedés következtében az új típus belső kabin mérete jelentősen megnőtt az elődhez képest.

A BK 117-hez képest további javítások közé tartozik a még nagyobb megengedett felszállótömeg, amely így 3,7 tonnára nőtt és a nagyobb 690 km-es hatótávolság, amelyet részben a EC135 típustól átvett kompozit forgószárnylapátoknak és az összesen 730 kg kerozin tárolására alkalmas 2 db üzemanyag tartálynak köszönhet, amelyeket a helikopter padlózat alatt helyeztek el [6]. A helikopter 2 db Safran Arriel 2E típusú hajtóművel rendelkezik (2. ábra), amellyel stabilizált üzemmódon egyenként, 575 kW teljesítményt adnak le, ami a felszállás idejére 667 kW-ra növelhető. A diagnosztikai funkciókkal ellátott, kétsatornás teljeskörű digitális hajtómű szabályozásnak (FADEC)<sup>4</sup> és továbbfejlesztett átviteli rendszernek köszönhetően, vész helyzetben, az egyik erőforrás leállása, hibája esetén az üzemelő hajtómű teljesítménye fél percig maximálisan 800 kW-ra, két percig 775 kW pedig növelhető, amely nagyban növeli a helikopter túlélőképességét. A gyártás kezdetén 4000 órás javításközi üzemidőt terveztek, amit a tapasztalatok alapján 6000 órára kívánják növelni, ez harmonizál a sárkányszerkezet javításközi üzemidejével [7].



2. ábra Safran Arriel 2E típusú hajtómű [8]

A H145M-nél a teljesen fix bekötésű csukló nélküli forgószárnyat és monolit (egy tömbből készült) titán forgószárnyagat alkalmaznak a jobb repülési tulajdonságok elérése érdekében (3. ábra). Ennek a megoldásnak az egyszerű felépítés, könnyű karbantarthatóság, a kis légelellás és hosszú élettartam a jellemzője. Az alkalmazott elasztomerek hosszú üzemideje annak köszönhető, hogy a dinamikus fárasztás (esetünkben vibráció) esetén, a fémekhez hasonlóan (Wöhler-diagram szerinti) terhelhetőség-csökkenés nem tapasztalható, nincs kimutatható kifáradási határjuk. Az így kialakított forgószárnyagok esetében nem változik meg a lapátok

---

<sup>4</sup> FADEC: Full-Authority Digital Engine Controls, teljeskörű digitális hajtómű szabályozás

vezérlésének elve, csak a hagyományos csuklók szerepét különféle, előre meghatározott rugalmasságú, illetve csillapítási tulajdonságú anyagok veszik át [9].



3. ábra Forgószárny bekötés [8]

### Avionika

Az avionika rendszer a következő elemeket foglalja magában:

- ➔ korszerű katonai IFR/VFR<sup>5</sup> navigációt biztosító eszközök;
- ➔ zavarvédett, titkosított, műholdas kommunikációra alkalmas VHF/UHF<sup>6</sup> rádióállomások;
- ➔ négytengelyes robotpilóta;
- ➔ idegen-barát felismerő berendezés (IFF)<sup>7</sup>, a NATO országok által rendszeresített helikopterek Mark XIIA idegen-barát felismerő berendezésének Mode 5 titkosított (kriptografikus) üzemmóddal is rendelkeznie kell, mivel ennek üzemmódnak a használata 2020 nyarától kötelező lesz minden NATO által vezetett koalíciós művelet esetében [10];
- ➔ vészjeladó (ELT)<sup>8</sup>;
- ➔ a földközelség jelző (HTAWS)<sup>9</sup> jelzi és figyelmezteti a személyzetet a számára veszélyes szárazföldi akadályokról az aktuális repülési útvonal során;
- ➔ éjjellátó- (NVG)<sup>10</sup> kompatibilis fülke műszerezettség, lehetővé téve az éjszakai alkalmazást is;
- ➔ Thales MEGHAS avionikai rendszer.

A helikopter képes teljes mértékben GPS navigáció segítségével repülni a felszállástól a leszállásig, követve az előre beprogramozott útvonalat, még kedvezőtlen meteorológiai körülmények esetén is [11].

A H145M helikopter teljesen digitalizált műszerfallyal rendelkezik, többek között az aktív mátrix LCD<sup>11</sup> kijelzőkkel ellátott Thales MEGHAS avionikai rendszerét is tartalmazza (4. ábra), amely számtalan funkciót képes egyidejűleg integráltan kezelni, többek között a robotpilótától, a repülésvezérlésen keresztül, a navigációs és a hajtómű vezérlő rendszereit is. Emellett folya-

<sup>5</sup> IFR/VFR: Instrument Flight Rules/Visual Flight Rules, műszer repülési szabályok/ látva repülési szabályok

<sup>6</sup> VHF/UHF – Very High Frequency/Ultra High Frequency

<sup>7</sup> IFF – Identification, Friend or Foe, idegen-barát felismerő berendezés

<sup>8</sup> ELT – Emergency Locator Transmitter, vészjeladó

<sup>9</sup> HTAWS – Helicopter Terrain Awareness System, helikopter földközelség jelző rendszer

<sup>10</sup> NVG – Night Vision Goggle, éjjellátó szemüveg

<sup>11</sup> LCD – Liquid Crystal Display, folyadékkristályos kijelző

matosan figyeli a helikopter összes alrendszerének az állapotát és az üzemeltetés során az esetleges hibaelhárítás gyorsan elvégezhető és így a karbantartási tevékenységek teljes mértékben optimalizálhatók [12] [13].

Az egyetlen képernyőn megjelenített összes repülési paraméter célja, hogy segítse a pilótát a helyzet gyors elemzésében és értékelésében annak érdekében, hogy továbbra is teljes mértékben csak az adott feladat végrehajtására koncentráljon.



4. ábra Műszerfal [8]

### H145M technikai paramétere

- személyzet: 1 helikoptervezető vagy 1 helikoptervezető és 1 helikoptervezető-operátor;
- a tehertér befogadóképessége: max. 10 fő;
- hossz: 11,69 m;
- forgószárny átmérő: 11,0 m;
- magasság: 3,95 m;
- üres tömeg: 1919 kg;
- hasznos teher: 1696 kg;
- max. felszálló tömeg: 3800 kg;
- hajtómű: 2 db Safran Arriel 2E, egyenként 575 kW;
- maximum sebesség: 269 km/h;
- utazó sebesség: 240 km/h;
- hatótáv: 685 km;
- gyakorlati csúcsmagasság: 4018 m;
- emelkedési sebesség: 8,13 m/s [7].

## A TÚLÉLŐKÉPESSÉGET NÖVELŐ MEGOLDÁSOK

A harci helikopterek hatékonysági mutatója

$$W = P_m \cdot P_t \cdot P_{mb}$$

ahol

- $P_m$  – csapásmérő képesség (az ellenséges cél megsemmisítési valószínűsége);
- $P_t$  – túlélőképesség (eredményes önvédelem képessége);
- $P_{mb}$  – műszaki megbízhatóság (hibamentes működés valószínűsége) [14].

Az Amerikai Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma is a repülőeszközök túlélőképességének biztosítását az egyik legfontosabb tervezési szempontnak tekinti. A túlélőképességét a repülőeszközök teljes életciklusa alatt biztosítani kell, a rendszerbeállítástól a kivonásig. A legújabb 4. és 5. generációs repülőgépek esetében a túlélőképességet növelő elemek már a tervezés korai szakaszában megjelennek [15].

Robert E. Ball<sup>12</sup> szerint „a légijármű harci túlélőképessége egy légijármű azon tulajdonsága, hogy képes elkerülni vagy kivédeni az ember által létrehozott ellenséges környezet hatásait” [16].

A cikkben a H145M típusú helikopter túlélőképességét kizárólag a műszaki megoldások közül is, a szerkezeti felépítés és az önvédelmi eszközök alkalmazása alapján kívánom bemutatni.

Szerkezeti túlélőképességnek nevezzük azt, amikor a helikopter szerkezeti kialakítása és megerősítése védelmet nyújt a különböző pusztítóeszközök ellen, lehetővé téve a különböző túlterhelések elviselését, vagy egyszerűen megóvja a gépszemélyzetet és az utasokat a különböző környezeti hatásoktól. Ide sorolhatjuk a megfelelő manőverezőképeséget, a páncélvédelmet és a megerősített sárkány teherviselő rendszert, a fedélzeti elektronikánál és a sárkány-hajtómű rendszereknél a redundáns felépítést, a megerősített futóművet, az alacsony zajszintű hajtóműveket, forgószárny és faroklégsavar-lapátokat, a tűzoltó és robbanást megelőző rendszereket, a radar keresztmetszet csökkentést, infravörös kisugárzás csökkentését az egyéb álcázó képesség kialakítását, vagy akár a valamilyen szintű lopakodó képesség kialakítását.

Az önvédelmi berendezések a fedélzeten található azon eszközök, melyek érzékelik és azonosítják a légijárművet ért különböző EMH<sup>13</sup> besugárzásokat, majd zavarják és megtevesztik azok forrását, ezáltal eltérítik a repülőeszköz irányába indított rakétákat [17] [18].

### Szerkezeti túlélőképesség

#### *Sérülés, megsemmisülés elleni védelem*

A H145M esetében a sérülés, megsemmisülés ellen védelem érdekében preventív jelleggel a sárkányszerkezet páncélvédeltségét megnövelték, hogy a hagyományos kézi tűzfegyverek elleni védelmét biztosítson, nem csak a légijárműnek, de a személyzetnek is.

A tüzelőanyag rendszernek a robbanástól vagy a tüztől védelme érdekében az öntömítő anyaggal bevont üzemanyag tartályokat alkalmaznak, amelyek akár a 20 mm-es lövedékek és repeszek ellen is védelmet nyújthat, növelve ezzel a helikopter túlélőképességet a harctéren. Az ilyen típusú üzemanyag tartályok, köszönhetően a speciális technológiának rövid idő alatt megállítják az üzemanyag szivárgását, mely biztosítja a feladat további végrehajtását vagy a bázisra történő visszatérést [19].

Egyes repülőgépgyártók szerint a leghatékonyabb és bizonyítottan leghatékonyabb védelmi megoldás, ha a tüzelőanyag rendszer csővezetékeit nem hagyják szabadon, hanem ún. üzemanyag cellákban vezetik a megfelelő helyekre. További biztonsági megoldás a törzstartályokhoz kapcsolódó habképző alrendszer, mely tüzelőanyag üregkitöltő habot juttat a tartályok szabad te- reibe szükség esetén. Más repülőgépgyárak elegendőnek tartják a tüzelőanyag tartályok semleges gázzal való feltöltését tűzveszély estében (5. ábra).

---

<sup>12</sup> Pofesszor Robert E. Ball, a légijárművek túlélőképesség vizsgálatának amerikai szakértője

<sup>13</sup> EMH: elektromágneses hullám

A megbízhatóságot növelő elemek között szerepel a létfontosságú rendszereknél a redundanciás struktúra alkalmazása. A 2 db hajtómű, illetve a hajtómű vezérlésnél, a helikopter repülésvezérlő rendszerénél alkalmazott tartalék rendszerek nagyban hozzájárulnak a sebezhetőség csökkentéséhez. A három, esetlenül négyeszeres közvetlen elektromos kapcsolat mellé tartalékként mechanikus rendszereket is kiépítenek biztosítva a megfelelő megbízhatóságot [15].



5.ábra Túlélőképességet növelő megoldások [20]

### A helikopter-személyzet védelme

A földközeli magasságból lezuhant helikopterek esetében megnyugtató védelmet az jelenhet, ha a helikopter törzsét konstrukciósan alkalmassá teszik a benne ülők sérülésmentes túlélésének biztosítására, vagyis a lezuhanásból származó ütközési energia elnyelését a leghosszabb fékezési úthosszon kell biztosítani. Ez csak a sárkány meghatározott elemeinek egymást követő, irányított deformációjával lehetséges. A H145M esetében egy energiaelnyelő csúszótalpas megoldást választottak, ami egyszerű, könnyű és megbízható, de növeli a helikopter légellenállását. Hátránya ennek a megoldásnak, hogy a földi mozgatásához speciális kiegészítő eszközre van szükség. A helikopterek tervezésénél, olyan megoldásokat alkalmaztak, melyek biztosíthatják a törésállóságot a sárkányszerkezet és az ülések szempontjából is. A vietnámi háború tapasztalati, ahol számos személyzet szenvedett gerinc sérülést, egy egyébként túlélte balesetben, adták meg a fő lökést a kutatásoknak és kezdtek el olyan energia elnyelő üléseket kifejleszteni, amelyek megvédhetik a személyzetet. A MIL STD 1290A<sup>14</sup> szabvány határozza meg a törésállóság követelményeit a könnyű merevszárnyú és a helikopterek számára [21].

A megfelelő biztonságot adó ülések kialakításakor fontos követelmény, hogy a hosszirányú ütközések esetén, az ülésnek tilos kitérnie a padlózatból, illetve, hogy a függőleges irányú becsapódás esetén az ülésnek az energia elnyelés során, biztosítania kell, hogy a személyzet és a szállítandó személyek gerinc sérülésének a valószínűsége minimális legyen [22] (6. ábra).

<sup>14</sup> MIL STD 1290A – United States Military Standard Light Fixed And Rotary-Wing Aircraft Crash Resistance



6. ábra Speciális ülés kialakítás [23]

### *A helikopter vizuális és akusztikai felderíthetőségének csökkentése*

A H145M viszonylag kis méretének és speciális festésének köszönhetően nehezebben észrevehető, összehasonlítva a nagyobb méretű pl.: Mi-24, AH-64, Tiger, A129 stb. típusú helikopterekhez képest.

A helikopterek akusztikai felderíthetőségének csökkentése is fontos, de csak másodlagos cél, mivel hangjelek alapján irányítható automatikus fegyverek egyelőre nem léteznek. Természetesen az alacsonyabb zajszint, a kézi fegyverekkel szemben javítja a túlélés esélyeit [18]. A H145M a zaj és a vibráció szint további csökkentése érdekében „Fenestron” kialakítású faroklégcsavarral van felszerelve, amely kompozit anyagból készült aszimmetrikus lapátokat tartalmaz [24].



7. ábra Fenestron faroklégcsavar [26]

A „Fenestron”-nak, lásd 7. ábra egy nagy átmérőjű cső belsejében forgó lapátokkal felszerelt dob egészét nevezik, amely a forgószárny reakció nyomtatékát egyenlíti ki. A kialakításából adódik a jó hatásfok és az alacsony zajkibocsátási szint. A forgószárny és a faroklégcsavar által



megmozgatott levegő nyomásának kiegyenlítődése hagyományos elrendezésben hirtelen, robbanásszerűen megy végbe, innen adódik a hagyományos kialakítású helikopterek jellegzetes hangja. A Fenestron alkalmazásával ez a kiegyenlítődéssel eltérő, a találkozó nyomáshullám-csúcsok sokkal kisebbek, illetve eltolt fázisban futnak össze. Kevésbé sérülékeny és balesetveszélyes az a hagyományos farok légcsavarokhoz képest is, így különösen előnyös többek között a csapatszállító helikoptereken való alkalmazása [25].

Emellett a forgószárny fordulatszám és nyomaték szinkronizátornak (VARTOMS)<sup>15</sup> is köszönhetően a helikopter a legcsendesebb a kategóriájában, a kibocsátott zaja 6,5 dB alacsonyabb, mint az ICAO<sup>16</sup> által ajánlott zajkibocsátási határérték [27].

### Önvédelmi eszközök

A H145M rendelkezik elektronikai harc rendszerrel, amely tartalmaz radar és lézer besugárzás, valamint az infravörös tartományban működő rakéta közeledés jelző berendezéseket. A rendszer része a passzív radar zavaró (dipól) és infracsapda kivető rendszer. A helikopterek önvédelmi berendezéseinek összessége egy integrált rendszert alkotva az elektronikai hadviselés részeként fogható fel, mely három fő területet ölel fel:

- Elektronikai védelmet, amely az elektronikai harc azon része, amely az ellenséges elektronikai harceszközökkel – melyek gyengíthetők, semlegesíthetők, vagy megsemmisíthetők a saját erőket – szembeni védelmére irányuló tevékenységeket foglalja magába. A helikoptereken az elektronikai védelemhez tartoznak, az infravörös hőképet csökkentő eszközök, a lopakodó kialakítás, valamint a radarhullámokat elnyelő festés;
- Elektronikai támogatást, ami a harc feladat során, a manőverek közben, az ellenséges eszközök által kisugárzott elektromágneses energia felderítésére és azonosítására szolgáló eszközök és eljárások összessége. A helikoptereken az elektronikai támogatás eszközeihez soroljuk a különböző radar és lézerbesugárzás-jelzőket, valamint az rakéta támadásra figyelmeztető rendszert;
- Elektronikai ellentevékenységet, amelyekkel megakadályozható vagy csökkenthető az ellenség elektromágneses spektrumának hatásos használata zavarás, megsemmisítés vagy elektromágneses megtevesztés során. A helikopterek önvédelmi berendezési közül a radar- és infravörös önirányítású rakéták elleni csapdák, a radar és infravörös zavarók minősülnek az elektronikai ellentevékenység eszközeinek [17].

### Elektronikai védelem

#### *A helikopter termikus kisugárzásának csökkentése*

A H145M helikopter hajtómű infravörös sugárzását csökkentették, növelve a helikopter passzív infravörös rakéta elleni védelmét. A repülő eszközök hajtóműveinél alkalmazott hőmérséklet-csökkentő eljárások elsődleges célja az, hogy a magas hőmérsékleten ionizálódó gáz mennyiségét csökkentsék. A hajtóművek hőkibocsátását csökkentő módszereknek technikáknak (pl: a hajtómű hőt kibocsátó részei „optikai” láthatóságának csökkentése, kiáramló gázok hőmérsék-

---

<sup>15</sup> VARTOMS – Variable Rotorspeed And Torque Matching System, forgószárny fordulatszám és nyomaték szinkronizátor

<sup>16</sup> ICAO – International Civil Aviation Organization, Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet

letének csökkentése, sárkányszerkezet hőmérsékletének a külső hőmérséklethez történő beállítása és a sárkányszerkezet visszaverő felületeinek csökkentése) köszönhetően a korszerű repülőgépek alig bocsátanak ki a környezetüknél melegebb gázokat. A módszerek célja az, hogy az infravörös sugárzás általános szintjét az alkalmazott infravörös célkoordinátorral rendelkező rakéták érzékenysége alá vigye, egyben a felderíthetőséget a háttérsugárzáshoz viszonyított kontraszt elmosásával a minimumra csökkentse [28].

### Elektronikai támogatás

#### *Radar besugárzás jelző<sup>17</sup> (RWR)*

Az RWR-t a légijárművet ért fenyegetések azonosítására és osztályozására lehet alkalmazni. A helikopter ELT/160(V)1 típusú RWR rendszere több széles sávú antennából áll, amelyek úgy vannak elhelyezve, hogy bármelyik irányból érzékeljék a besugárzás tényét. A berendezés folyamatosan vizsgálja a vett jelek különböző paramétereit, mint például a frekvenciát (2–40 GHz között, E sávtól a K sávig), a jel alakot, a besugárzás irányát, az impulzus ismétlési frekvenciáját. Az így nyer adatok segítségével a rendszer automatikusan elemzi, osztályozza, eltárolja és kijelzi akár a számára ismeretlen veszély forrásokat is, amelyekről az előre beprogramozott adatbázisa semmilyen információt nem tartalmazott.

A fejlett eszközök képesek együttműködni a repülőgép vezérlő rendszerrel, a kitérő manőverek végrehajtása érdekében, illetve a dipól és infracsapda kivetővel, hogy automatikusan kivetésre kerüljenek a zavaró csapdák [29].

#### *Lézer besugárzás jelző (LWR)<sup>18</sup>*

A lézer technológia fejlődésével párhuzamosan megjelentek a lézer irányítású rakéták, amelyek, a lokátor irányításúhoz képest sokkal pontosabb célzást és zavarvédelmet tesznek lehetővé.

Az ALTAS 2Q(B) típusú lézer besugárzás jelző (8. ábra) egy olyan típusú figyelmeztető rendszer, amely a kisugárzott lézert észleli, elemzi és meghatározza a sugárforrás irányát. Érzékelt hullámhossz:  $\lambda = 0,5 \mu\text{m} - 1,65 \mu\text{m}$  (LRF<sup>19</sup> és LTD<sup>20</sup>),  $\lambda = 0,8 \mu\text{m} - 1,1 \mu\text{m}$  (LBR<sup>21</sup>), impulzus ismétlési frekvencia: 1 kHz-ig, felderítési valószínűség nagyobb, mint 95% [30]. Mivel a kisugárzott lézerek nagyon keskeny nyalábúak és kevesebb energia szükséges a működtetésükhöz, mint a félaktív lokátoros kialakításnál, ez megnehezíti a lézer irányítású eszközök észlelését [31].

Az LWR az azonosítást követően, figyelmezteti a légijármű személyzetét a veszélyforrásról, aki így megkezdheti a szükséges ellentevékenység végrehajtását, például kitérő manőverek végrehajtásával, lézeres zavaró vagy lézer ellentevékenység rendszer működtetésével [32].

---

<sup>17</sup> RWR – Radar Warning Receiver, Radar besugárzás jelző

<sup>18</sup> LWR – Laser Warning Receiver, lézeres besugárzás jelző

<sup>19</sup> LRF – Laser Range Finder, lézeres távolságmérő

<sup>20</sup> LTD – Laser Target Designator, lézeres célmegjelölő

<sup>21</sup> LBR – Laser Beam Rider, lézeres célravezetés



8. ábra ALTAS 2Q(B) LWR [30]

### *Rakétaindításra figyelmeztető rendszer (MAWS)<sup>22</sup>*

A modern rakétaindításra figyelmeztető eszközök az impulzus-doppler RADAR (PDR)<sup>23</sup> technológia, illetve az infravörös (IR)<sup>24</sup> és/vagy az ultraibolya (UV)<sup>25</sup> tartományú elektromágneses sugárzás érzékelését felhasználó opto-elektronikai rendszerek alapján működnek. A korszerű berendezések az emissziós adatokat is felhasználhatják az ellenséges rakéták típusának meghatározására, hogy lehetővé tegyék a célzott és megfelelő ellenintézkedéseket. A H145M típusú helikopteren alkalmazásra kerülő ultraibolya tartományban működő AN/AAR-60 típusú berendezés [33] előnye (9. ábra), hogy sokkal alacsonyabb számú a téves riasztásokból adódó probléma az IR alapú rendszerekhez képest, emellett egyszerűbb műszaki kivitelű, bármilyen időjárási körülmény között alkalmazható, illetve nincs szüksége külön hűtésre és központi jelfeldolgozó rendszerre, mert az egyes szenzorok jelei külön-külön kerülnek feldolgozásra. Hátránya, hogy nagyobb magasságban kisebb a felderítési hatósugara, nem biztosít aktuális távolsági adatokat és csak a működő hajtóművel közeledő rakétákat érzékeli, amelyek hőt bocsátanak ki. Amint érzékeli a közeledő rakétát, a rendszer figyelmeztető jelet ad a személyzet részére és vizuálisan is kijelzi a rakéta, repülő eszközökhöz viszonyított helyzetét, majd automatikusan megkezdi a dipól és az infracsapdák kilövését [34].



9. ábra AN/AAR-60 rakétaindításra figyelmeztető rendszer [35]

<sup>22</sup> MAWS – Missile Approach Warning System, rakétaindításra figyelmeztető rendszer

<sup>23</sup> PDR – Pulse-Doppler Radar, impulzus-doppler RADAR

<sup>24</sup> IR – InfraRed, infravörös tartományú elektromágneses sugárzás

<sup>25</sup> UV – Ultra Viola, ultraibolya tartományú elektromágneses sugárzás

### Elektronikai ellentevékenység

#### *Infracsapda (passzív infravörös zavaró)*

A H145M rendelkezik korszerű infracsapda kivetővel (10. ábra). Az új anyagokat tartalmazó infracsapdák tulajdonképpen lassan égnek, így biztosítva a kellően alacsony hőmérsékletet és a hosszú idejű égést. A viszonylagosan alacsony égési hőmérséklet miatt a hordozó repülőeszköz rejtve maradhat földi vizuális felderítés elől, ezáltal biztosítva légvédelmi fegyverek elleni védelmet, valamint a minél jobb spektrális hasonlóságot [36].



10. ábra Saphir-M infracsapda és dipól kivető [37]

#### *Passzív rádiólokátor zavaró (dipól kivető)*

A dipólok általában alumínium vagy egyéb fémmel bevont üvegszálból vagy műanyagból készülnek (11. ábra). Ezek kivetése mintegy függőnyként álcázza a légi járművet és ezáltal hamis célokat generál a fenyegetést jelentő rádiólokációs eszközök számára.



11. ábra RR-144 és RR-129 dipól [38]

## FEGYVER RENDSZER

Az Eurocopter Tiger (EC665) harci helikopteren szerzett tapasztalatokat felhasználva az Airbus olyan fegyverzet vezérlő rendszert (HForce) fejlesztett ki, ami az adott feladat végrehajtásának céljából biztosítja a különböző fegyverrendszerek alkalmazhatóságát.

### HForce rendszer

A HForce egy moduláris rendszernek tekinthető, különböző típusú helikopterek között is cserélhető többfunkciós fedélzeti számítógépet és számos fegyvertrendszert tartalmazhat.

A rendszer figyelembe veszi a célzási pontosság növelése érdekében a következőket:

- a fegyverek hátra lökési erejét;
- a helikopter tömegközéppontját.

### Felépítése

- egy központi számítógép a különböző számítási feladatok elvégzésére;
- oldalanként 1–1 db fegyver függesztési pont;
- Wescam (MX15) nappal és éjjel is alkalmazható, elektro-optikai felderítő és célkövető kamerarendszer;
- Thales (Scorpion) monokuláris sisak célzó és kijelző [38] (12. ábra).



12. ábra Sisak célzó és kijelző [8]

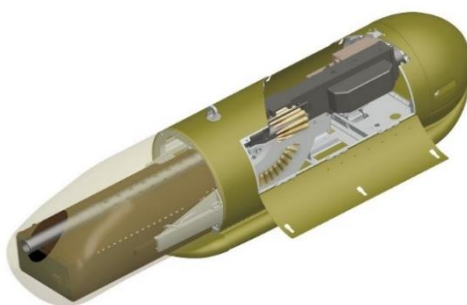
### Fegyverzet

A Hforce fegyverrendszer első éleslövését a H145M típusú helikoptereken 2017-ben Magyarországon hajtották végre. Ahol az FN Herstal HMP400<sup>26</sup> konténer, a Nexter NC621 20 mm-es gépágyú-konténer és a Thales FZ231 rakéta indító blokkok fedélzetre történő integrálásnak utolsó lépéseként, sikeres teszteléseket hajtottak végre [39].

Majd, ezt követően 2017. decemberében a Thales FZ275 70 mm-es féllaktív lézer irányítású levegő-felszín (SAL)<sup>27</sup> rakéták alkalmazására is sor került [40].

### Tűzfegyverek

Az FN Herstal HMP400 konténert (13. ábra) a helikopterek és hangsebesség alatti merevszárnyú repülőgéphez fejlesztették ki és eddig az FN M3P 12,7 mm-es géppuska integrálását végezték el (6. ábra). A konténer vészhelyzet esetén ledobható a légijárműről. A géppuska elméleti tűzgyorsasága 950–1100 lövés/min, lőszerjavadalmazása 400 lőszer, hatásos lőtávolsága 1850 m, élettartama 10 000 lövés [41] [42].



13. ábra FN Herstal HMP400 konténer [41]

<sup>26</sup> HMP – Heavy Machine Gun Pod

<sup>27</sup> SAL – Semi-Active Laser, féllaktív lézer irányítású

A Nexter NC621 20 mm-es gépágyú-konténer (14. ábra), amit szintén a helikopterek és hangsebesség alatti merevszárnyú repülőgépen történő alkalmazásra terveztek, a M621 20 mm-es gépágyút tartalmazza. A gépágyú elméleti átlagos tűzgyorsasága 750 lövés/min, hatásos lőtávolsága 2000 m, lőszerjavadalmazása 180 lőszer [43].



14. ábra Nexter NC621 gépágyú konténer [8]

### Nemirányítható rakéták

A nemirányítható rakéták a nem vagy a gyengén páncélozott célok, közepesen megerősített *beton objektumok támadására alkalmazhatóak*. A Thales FZ231 rakéta indító blokk (15. ábra), 12 db 70 mm-es nemirányítható rakéta indítására képes. A rakéták harci részei igen különbözőek lehetnek és indítási távolságuk is változó, ami függ a hajtómű típusától és a harci rész tömegétől, a különböző változatok miatt ez 7100–9000 m közé esik.

- FZ71 HEGP – High Explosive General Purpose – a nagy hatóerőjű, általános célú;
- FZ319 HEAP – High Explosive Armour Piercing – nagy hatóerőjű páncéltörő;
- FZ181 FS – Flash Signature – világító;
- FZ120 IP – Inert Practice, gyakorló súlymakett;
- FZ149 MULTIDART – 36 db egyenként 35 g-os nyíl megsemmisítő elemet tartalmaz;
- FZ122 Flechette – 2200 db egyenként 1,3 g-os nyíl megsemmisítő elemet tartalmaz [44] [45].



15. ábra FZ231 rakéta indító blokk [8]

### Írányítható rakéták

Az FZ275 LGR – Laser Guided Rocket – félaktív lézer önirányítású rakéta (16. ábra) az indítása során egy lézer célmegjelölővel meg kell jelölni a célt, melyről a visszaverődő sugarakat egy nagyérzékenységű célkoordinátor érzékeli, majd kidolgozza az irányító jelet, mely a rakéta kormány-gépéire kerül [46].

A célmegjelölés történhet a rakéta indítása előtt (LOBL)<sup>28</sup> vagy után (LOAL)<sup>29</sup> is, de akár egy másik platformról is, például egy katona egy célmegjelölővel, vagy egy másik légi jármű is megteheti. Ez a sokoldalúság a helikopter számára sokkal nagyobb túlélőképességet és a támadásra való képességet biztosít anélkül, hogy az ellenséget meg kellene közelítenie. FZ275 félaktív lézer önirányítású rakéta ürmérete 70 mm, hatótávolsága 6000 m, szórása kisebb, mint 1 m [47].



16. ábra FZ275 félaktív lézer önirányítású rakéta [8]

### KÖVETKEZTETÉSEK

A cikkben a Magyar Honvédség beszerzés alatt álló Airbus H145M típusú helikopter fejlesztésének lépéseit, főbb harcászati-technikai jellemzőit és a fegyver rendszerét mutattam be, ezen kívül megvizsgáltam a helikopter fejlesztése során milyen túlélőképességet növelő elemeket alkalmaztak. A helikopterek hatékonysági mutatójának egyik legfontosabb elemét a túlélőképességet, számos tényező, többek között különféle műszaki, technikai megoldások képesek befolyásolni. Elemeztem és bemutattam a túlélőképességet növelő tényezők közül, milyen szerkezeti felépítésből adódó műszaki megoldások és milyen fedélzeti önvédelmi elektronikai eszközök kerültek felszerelésre a helikopterre.

Az Airbus H145M esetében a tervező és gyártó vállalat a túlélőképességet növelő műszaki megoldások széles spektrumát alkalmazta. A korszerű avionikai rendszerek, többek között, mint a zavarvédett, titkosított, műholdas kommunikációra alkalmas VHF/UHF rádióállomások, 4 csatornás robotpilóta, idegen-barát felismerő berendezés, illetve éjjellátó-kompatibilis fülke műszerezettség mind hozzájárulnak a túlélőképesség és a hatékonyság növeléséhez.

A szerkezeti megoldásokat vizsgálva a Magyar Honvédségben először fog megjelenni Fenestron típusú faroklégcsavarral felszerelt helikopter.

Azonban megállapítható, hogy a forgószárnyas képesség megújításának egyik legfontosabb eleme az, hogy az Airbus H145 rendelkezni fog olyan fedélzeti elektronikai önvédelmi rendszerekkel, mint a korszerű radar és lézerbesugárzás-jelzők, valamint a rakéta támadásra figyelmeztető rendszer, illetve a passzív radar- és infravörös önirányítású rakéták elleni csapdák, amelyek nagyfokú technológiai fejlettséget és hatékonyságot adnak a jelenleg rendszeresített helikopterekhez képes, biztosítva a forgószárnyas képesség megújítását a túlélőképesség növelés vonatkozásában.

---

<sup>28</sup> LOBL – Lock-on Before Launch, célmegjelölés a rakéta indítása előtt

<sup>29</sup> LOAL – Lock-on After Launch, célmegjelölés a rakéta indítása után

További fejlesztésként az aktív radar (RFJ)<sup>30</sup>, lézer infravörös védelmi eszközök (IRCM)<sup>31</sup> és nagy hatóerejű kumulatív vagy tandem kumulatív típusú harcírésszel rendelkező irányítható páncéltörő rakéták (HEAT<sup>32</sup> vagy HEAT TCh<sup>33</sup>) felszerelésével lehetne növelni a helikopter harci túlélőképességét és hatékonyságát.

A légijárművek túlélőképességét befolyásoló tényezők azonosítására, rendszerezésére vonatkozó kutatások napjainkban is zajlanak, minden haderő elemi érdeke ezen tényezők feltárása, hogy a rendszeresített és alkalmazott repülőeszközei harctéri hatékonyságát növelni tudja. Ez azért fontos, mert a helikopter alkalmazása a modern harctéren és békétámogató műveletek során rávilágíthat a típus előnyeire és hátrányaira, amit egyéb eljárásokkal, módszerekkel kell szükség szerint ellensúlyozni.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Honvédelem, „Folytatódik a haderő fejlesztése – új katonai helikoptereket szerez be a honvédség,” [Online]. Available: [https://honvedelem.hu/cikk/111144\\_folytatodik\\_a\\_hadero\\_fejlesztese\\_uj\\_katonai\\_helikoptereket\\_szerez\\_be\\_a\\_honvedseg](https://honvedelem.hu/cikk/111144_folytatodik_a_hadero_fejlesztese_uj_katonai_helikoptereket_szerez_be_a_honvedseg).
- [2] Airportal, „Airbus Helicopters H145M katonai helikoptereket vásárol a magyar honvédség,” [Online]. Available: <https://airportal.hu/airbus-helicopters-h145m-katonai-helikoptereket-vasarol-a-magyar-honvedseg/>.
- [3] Wikipedia The Free Encyclopedia, „MBB/Kawasaki BK 117,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/MBB/Kawasaki\\_BK\\_117](https://en.wikipedia.org/wiki/MBB/Kawasaki_BK_117).
- [4] Wikipedia The Free Encyclopedia, „Eurocopter EC145,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Eurocopter\\_EC145](https://en.wikipedia.org/wiki/Eurocopter_EC145).
- [5] Wikipedia The Free Encyclopedia, „Airbus Helicopters,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus\\_Helicopters](https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus_Helicopters).
- [6] EASA, „Airbus Helicopters EC145 (BK117),” [Online]. Available: [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EC145%20\(BK117\)\\_Family-Draft%20Report\\_%2029%2004%2014%20-%20draft.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EC145%20(BK117)_Family-Draft%20Report_%2029%2004%2014%20-%20draft.pdf).
- [7] Airbus, „H145-Technical Data,” [Online]. Available: [https://www.airbus.com/helicopters/civil-helicopters/light-twin/h145.html#medialist\\_copy\\_copy\\_-document-document-all\\_ml\\_0-5](https://www.airbus.com/helicopters/civil-helicopters/light-twin/h145.html#medialist_copy_copy_-document-document-all_ml_0-5).
- [8] Thai Military and Asian Region, „H145M Battlefield Support Helicopter,” [Online]. Available: <https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2016/03/05/h145m-battlefield-support-helicopter-france/>.
- [9] G. Kovács, „Forgószárny vibrációcsökkentés technikai megoldásai,” Repüléstudomány Közlemények 2013/3, pp. 1-7, 2013.
- [10] Thales, „Are those aircraft friendly or not? How to identify your allies,” [Online]. Available: <https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/defence/news/are-those-aircraft-friendly-or-not-how-identify-your-allies>.
- [11] Aero News Network, „Eurocopter Teams With French Authorities To Test New Medevac Route,” [Online]. Available: <http://www.aero-news.net/index.cfm?do=main.textpost&id=77eceb5-7d4c-4f4f-a9ac-b4120c974b81>.
- [12] Aerospace Online, „MEGHAS Avionics Certified on EC 135,” [Online]. Available: <https://www.aerospaceonline.com/doc/meghas-avionics-certified-on-ec-135-0001>.
- [13] Thai Military and Asian Region, „H145M Battlefield Support Helicopter, France,” [Online]. Available: <https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2016/03/05/h145m-battlefield-support-helicopter-france/>.
- [14] L. Szilvássy, A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben, Doktori (PhD) Értekezés, Budapest: ZMNE, 2008, pp. 96-104.
- [15] L. Kavas, Harcászati repülőgép kiválasztásának módszere gazdasági - hatékonysági mutatók alapján, kis létszámú haderő légierejének korszerűsítésére, Doktori (PhD) értekezés, Szolnok: ZMNE, 2009.

---

<sup>30</sup> RFJ – Radio Frequency Jamming, Rádió frekvenciás zavarás

<sup>31</sup> IRCM – Infrared Countermeasures, Infravörös zavarás

<sup>32</sup> HEAT – High explosive anti-tank, nagy hatóerejű kumulatív

<sup>33</sup> HEAT TCh – Tandem Charge tandem kumulatív



- [16] R. E. Dr. Ball, *The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability: Analysis and Design*, USA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2003, p. 895. DOI: <https://doi.org/10.2514/4.862519>
- [17] Z. Rolkó, „Helikopterek túlélőképessége,” *Repüléstudomány Közlemények* 2013/1, pp. 1-14, 2013.
- [18] G. Dr. Óváry, „Biztonság és repüléstechnikai megoldások katonai helikopterek harci túlélőképességének javítására,” *Repüléstudomány Közlemények* 2005/2, pp. 1-14, 2005.
- [19] Meggitt, „Fuel Systems for Aerospace,” [Online]. Available: <https://www.meggitt.com/products-services/fuel-systems-tanks/>.
- [20] Airbus, „H145M infographic,” [Online]. Available: [https://www.airbus.com/helicopters/military-missions/armed-scout.html#medialist\\_copy\\_copy\\_\\_1396037421-image-infographic-all\\_ml\\_0-3](https://www.airbus.com/helicopters/military-missions/armed-scout.html#medialist_copy_copy__1396037421-image-infographic-all_ml_0-3).
- [21] Wikipedia The Free Encyclopedia, „Crashworthiness,” [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Crashworthiness>.
- [22] FAA William J. Hughes Technical Center, „Aircraft Crashworthiness Research Program,” [Online]. Available: <http://www.tc.faa.gov/its/cmd/visitors/data/AAR-430/crashwor.pdf>.
- [23] Jetplanes, „Légierőnk új típusa, a H145M,” [Online]. Available: [https://jetplanes.blog.hu/2018/08/14/legieronk\\_uj\\_tipusa\\_a\\_h145m](https://jetplanes.blog.hu/2018/08/14/legieronk_uj_tipusa_a_h145m).
- [24] Globalsecurity, „H145M,” [Online]. Available: <https://www.globalsecurity.org/military/world/europe/ec645.htm>.
- [25] M. Légimentők, „Helikoptereink, Eurocopter EC135 T2 CPDS,” [Online]. Available: <http://portal.legimentok.hu/technika/helikoptereink>.
- [26] Wikimedia, „Fenestron,” [Online]. Available: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fenestron\\_555c.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fenestron_555c.jpg).
- [27] Wayback Machine, „Eurocopter EC145, Technology & Design,” [Online]. Available: [https://web.archive.org/web/20130425043926/http://www.eurocopter.com/site/en/ref/Technology\\_94.html](https://web.archive.org/web/20130425043926/http://www.eurocopter.com/site/en/ref/Technology_94.html).
- [28] J. Bozóki, „Katonai repülőeszközök aktív és passzív védelmi lehetőségei infravörös önirányítású rakéta találat ellen,” *Repüléstudomány Közlemények* 2012/1, pp. 1-8, 2012.
- [29] Wikipedia The Free Encyclopedia, „Radar warning receiver,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Radar\\_warning\\_receiver](https://en.wikipedia.org/wiki/Radar_warning_receiver).
- [30] Hensoldt, „ALTAS-2Q Advanced Laser Threat Alerting System,” [Online]. Available: <https://www.hensoldt.net/solutions/air/electronic-warfare/altas-2q/>.
- [31] Wikipedia The Free Encyclopedia, „Beam riding,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Beam\\_riding](https://en.wikipedia.org/wiki/Beam_riding).
- [32] A.-J. Mubarak, PhD THESIS, *The vulnerability of laser warning systems against guided weapons based on low power lasers*, USA: Cranfield University, 2006.
- [33] Hensoldt, „MILDS AN/AAR-60 Missile Warning System,” [Online]. Available: [https://www.hensoldt.net/fileadmin/hensoldt/Datenbl%C3%A4tter/0631\\_17\\_MILDS\\_AN\\_AAR-60\\_datasheet\\_E\\_intranet.pdf](https://www.hensoldt.net/fileadmin/hensoldt/Datenbl%C3%A4tter/0631_17_MILDS_AN_AAR-60_datasheet_E_intranet.pdf).
- [34] Wikipedia The Free Encyclopedia, „Missile approach warning system,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Missile\\_approach\\_warning\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Missile_approach_warning_system).
- [35] Thai military and asian region, „EADS AN / AAR-60 missile launch detector,” [Online]. Available: <https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2015/11/14/>.
- [36] S. Dr. Vass, „Katonai repülőeszközök túlélési lehetőségei az infravörös sugárzású rakéták támadásai ellen,” *Hadmérnök*, pp. 1-13, 2006.
- [37] MBDA systems, „Saphir-M decoying for protection,” [Online]. Available: <https://www.mbda-systems.com/?media-center=saphir-m-5>.
- [38] Wikipedia, „Chaff (countermeasure),” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Chaff\\_\(countermeasure\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Chaff_(countermeasure)).
- [39] Airbus, „Airbus Helicopters completes first firing campaign with HForce-equipped H145M,” [Online]. Available: <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2017/11/airbus-helicopters-completes-first-firing-campaign-with-hforce-e.html>.
- [40] Airbus, „Ready to serve: Airbus Helicopters’ militarized H145M receives its on-time EASA certification,” [Online]. Available: <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2015/05/ready-to-serve-airbus-helicopters-militarized-h145m-receives-its-on-time-easa-certification.html>.
- [41] Airbus, „H145M successfully launched 70 mm Laser Guided Rockets during its firing campaign in Sweden,” [Online]. Available: <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2018/01/h145m-successfully-launched-70mm-laser-guided-rockets-during-its.html>.
- [42] FNAmerica, „FN® HMP400 Pod,” [Online]. Available: <https://fnamerica.com/products/fn-airborne-pod-systems/fn-hmp400-pod/>.

- [43] FNAmerica, „FN® M3P,” [Online]. Available: <https://fnamerica.com/products/weapon-systems/fn-m3p/?referrer=military>.
- [44] Nexter, „NC 621 Cannon pod for helicopters and light aircrafts,” [Online]. Available: <http://preprod.nexter-group.fr/en/products/item/406-nc-621-cannon-pod-for-helicopters-and-light-aircrafts>.
- [45] Thales Belgium SA, „Warhead,” [Online]. Available: <http://fz.be/products.php?p=11>.
- [46] Thales Belgium SA, „World leader in the field of 70mm (2.75”) air-to-ground rocket systems,” [Online]. Available: <http://fz.be/FZ231>.
- [47] I. Papp, „Repülőfedélzeti irányítható rakéták,” Repüléstudományi Közlemények 2017/2, pp. 1-14, 2017.
- [48] Thales Belgium SA, „Laser Guided Rocket,” [Online]. Available: <http://fz.be/laser-guided-rocket#6>.
- [49] Wikipedia The Free Encyclopedia, „Radar jamming and deception,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Radar\\_jamming\\_and\\_deception](https://en.wikipedia.org/wiki/Radar_jamming_and_deception).

---

### *THE H145M HELICOPTER COMBAT SURVIVABILITY*

*In this article I would like to introduce the Airbus H145M multi-role battlefield support helicopter. After describing the development, design and the main technical characteristics, I will analyse the helicopter in terms of the combat survivability, detailing the structure, the various of the self-defence systems, and finally the weaponry currently used.*

**Keywords:** *combat survivability, helicopter, self-defence system, weaponry*

---

Domán László őrnagy,  
főtechnológus (osztályvezető helyettes)  
Magyar Honvédség Légijármű Javitóüzem  
Műszaki Fejlesztési és Technológiai Osztály  
[doman.laszlo79@gmail.com](mailto:doman.laszlo79@gmail.com)  
[orcid.org/0000-0002-4472-2609](https://orcid.org/0000-0002-4472-2609)

Major László Domán  
chief technologist (Deputy Head of Dep.)  
Hungarian Defence Forces Aircraft Repair Plant  
Technical Development and Technological Department  
[doman.laszlo79@gmail.com](mailto:doman.laszlo79@gmail.com)  
[orcid.org/0000-0002-4472-2609](https://orcid.org/0000-0002-4472-2609)

---



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/308/37>

Makkay Imre

## MÁSODLAGOS INFORMÁCIÓFORRÁSOK A LÉGTÉR BEN

DOI: 10.32560/rk.2019.1.9

*A légtér forgalma és telítettsége egyre növekszik, ami egyre nagyobb kihívások elé állítja annak résztvevőit. A polgári és katonai légi járművek helyzetének, mozgásának követése „klasszikusan” a radarok által mért primer adatok alapján történik – és ez a katonai repülésben várhatóan nem változik. A polgári légiforgalomban ugyanakkor alkalmazhatóak a saját helyzet jelentő rendszerek, melyek radar-lefedettség hiányában is tudnak információkat szolgáltatni. A közforgalmi-, kisépés és egyre nagyobb számú drónrepülés résztvevői azzal, hogy GNSS alapú adataikat megosztják a légtérben közlekedőkkel és a földi irányítással nagymértékben hozzá tudnak járulni a biztonság növeléséhez. Az írásműben ezeket mutatjuk be – kiegészítve az egyetemi kutatás-fejlesztés során szerzett tapasztalatokkal.*

**Kulcsszavak:** légtér, információ, GNSS, ADS-B, FLARM, OGN

### BEVEZETŐ

A légiforgalomra különösen jellemző – ami a többi dimenzióban sem elhanyagolható – hogy „látni és látszani” a résztvevők számára a Shakespeare-i „lét és nemlét” kérdést is felvetheti. A tét még nagyobb, hiszen az ütközések elkerülésére az országúton-, vízen közlekedők számára általában megvan a megállás, várakozás lehetősége – ez a levegőben a merevszárnyú légi járművekkel nem, a forgószárnyas kivitelűekkel csak korlátozott ideig hajtható végre.

A globális helymeghatározó rendszer – GNSS<sup>1</sup> már nemcsak az amerikai GPS<sup>2</sup> hanem az egyre gyarapodó egyéb – GLONASS, Galileo, BeiDou – műholdas navigációs eszközök adataira is támaszkodhat. Kézenfekvő a megoldás: ha a légtérben közlekedők a saját helyzetüket a GNSS segítségével pontosan meg tudják határozni, akkor azt egy adatcsomag részeként tegyék „közkinccsé” – azaz tudassák a többi résztvevővel. A földi irányító/tájékoztató szolgálatok és a légi járművek vezetői így „első kézből” kapnak információt egy objektum jelenlétéről – a kiléte, szándéka, mozgása és más kiegészítő adat mellett.

Az „önkéntes” adatszolgáltatás elvárható minden polgári légtérfelhasználó részéről – ezzel polgári repülésirányítás megszabadulhat a primer radarrendszere fenntartásának hatalmas költségétől. A katonai légi járművek erre csak a békeidős, közös légtérben folyó gyakorlatok alkalmával kötelezhetők, így a katonai radarok továbbra is nélkülözhetetlenek maradnak a „nem együttműködő” betolakodók felderítésére.

A továbbiakban sorra vesszük a már több formában/rendszerben jelen lévő légtérrel kapcsolatos másodlagos információkat és megosztjuk a velük kapcsolatos egyetemi kutatások eredményeit.

<sup>1</sup> GNSS – Global Navigation Satellite System

<sup>2</sup> GPS – Global Positioning System

## ADS-B – MINDENKI SZÁMÁRA

Az ADS-B<sup>3</sup> a polgári légi irányítás/forgalom számára a helyzet-adatokat automatikusan kisugárzó, a légtér biztonságát nagymértékben növelő rendszer mára bizonyította életképességét és nélkülözhetetlenségét. A primer és szekunder radarok nem tudnak versenyezni sem a megnövekedett forgalommal, sem az ezt igénylő korszerűsítés költségeivel. A radarlefedettség a világ légtereinek 70%-án hiányzik – így a forgalom szervezése, a repülések útvonalai és a kutató-mentő szolgáltatások is csak egy viszonylag szűk térre korlátozódhatnak.

Ezeket kíván javítani az ADS-B [1]: radar-szintű elkülönítést biztosítani a radar lefedettség nélküli légterekben, növelni a VFR<sup>4</sup> repülések követésének képességét, csökkenteni a futópálya használat és a földi gurulások közben jelentkező veszélyforrásokat, pontosabb információkat biztosítani a kutató-mentő szolgálatok számára, segíteni a pilótákat a „látni és elkerülni” manőverek végrehajtásában – tájékoztatni a környező forgalomról, leszállás előtti légtér és futópálya foglaltságról, MVFR<sup>5</sup> időjárási körülmény kialakulása esetén a közeli légi járműveket észlelni, a fedélzeten elhelyezett kijelzőkön a légtér foglaltság valós idejű megjelenítését biztosítani.

Az „ADS-B Out” adóberendezés is az SSR<sup>6</sup> (szekunder radar) által használt 1090 MHz-es válaszfrekvencián sugároz. Az S-módú transzponderek is átalakíthatók ADS-B adásra – amit „Extended Squitter” néven használnak. Ezek az SSR válasz mellett a 120 µs-os ADS-B adatcsomagokat is – másodpercenként többször – kisugározzák. A rövid adásidő, változó periodicitás, hibajavító kódolás csökkenti az adatütközések veszélyét – ugyanakkor a vevőállomások megsokszorozása a többutas jelfeldolgozás is nagymértékben hozzájárul a felderítés folyamatosságához.

A polgári repülés biztonsága érdekében a kommunikációs rádióforgalom, a navigációs és telemetriai, valamint vészfrekvenciás adások titkosítás nélkül, egyszerű vevőkészülékkel elérhetők. Az ADS-B adások protokollja is ismert [2] – ami biztonsági kockázatként is felmerülhet. A manipulált adások kiszűrésére a WAM<sup>7</sup> rendszer alkalmazása is indokolt. A multilaterális véttel – széttelepített vevőállomásokkal, azok késleltetési időit kiértékelve – ellenőrizhető a forrás koordinátája.

Az ADS-B adásokat „virtuális radar”-ként megjelenítve számos szolgáltató a honlapján elérhetővé teszi. Különösen népszerűek az utasforgalom számára releváns információk – repülőgépek helyzete, indulása, érkezése, járatok késése stb. A honlapokat üzemeltetők nemcsak megosztanak, hanem gyűjtnek is információkat – olyan lelkes közreműködőktől, akik hajlandók ADS-B vevőberendezést telepíteni, üzemeltetni. Napjainkban már komoly „amatőr légtérfigyelő” mozgalom működik – feltöltve a világhálóra a helyi repülések adatait. A vevőberendezés összeállítása nem kíván külön képzettséget – a digitális TV adások vételére fejlesztett USB tuner és egy Raspberry Pi a szolgáltatótól letölthető programmal már működőképes. Az antenna egyszerű negyedhullámú (87 mm) dipól körsugárzó – például a koaxiális antennakábel végéből „kifaragva” – amely megfelelő rálátással akár 250–300 km-ről is vesz ADS-B jeleket.

---

<sup>3</sup> ADS-B - Automatic Dependent Surveillance - Broadcast

<sup>4</sup> VFR – Visual Flight Rule

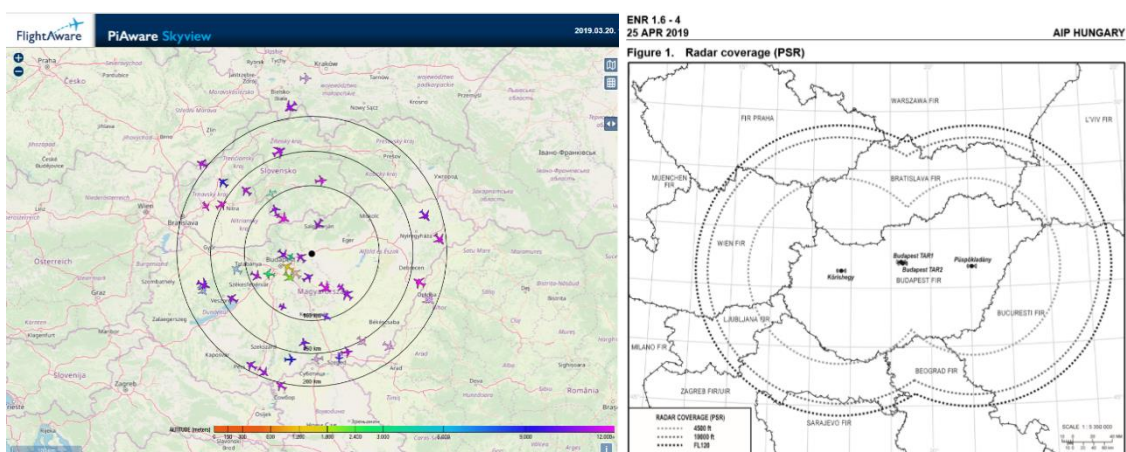
<sup>5</sup> MVFR – Marginal Visual Flight Rule

<sup>6</sup> SSR – Secondary Surveillance Radar

<sup>7</sup> WAM – Wide Area Multilateration

Aki hajlandó az ADS-B/S-mode felderítők taborát gyarapítani azt több szolgáltató is szívesen fogadja. A weblapok szerint a világon sok-sok ezer önkéntes adatszolgáltató táplálja az adatbázisait, amit „jutalmul” számukra kedvezményekkel tesznek hozzáférhetővé. Van olyan kevésbé lefedett térség – hazánk nem tartozik ide – ahová vevőkészüléket is küldenek az üzemeltetésért. A szándék érthető: minél nagyobb biztonsággal, több forrásból származó, megerősített adatot szolgáltatni – a „fizető” vásárlóknak.

Az 1. ábrán egy amatőr FlightAware vevő és a hazai radarok hatótávolsága összehasonlítható. A mérleg serpenyői – bár a végeredmény tekintetében hasonló a cél – eltérő játékszabályok mentén telnek meg. A körülmények és a befektetett energia nagyon különböznek és nem azonos az értékrend.



1. ábra Egy amatőr ADS-B vevőállomás és a három légiforgalmi felderítő radar által lefedett tér [3]

A primer radarok visszavert jeleket érzékelnek – a nagynyereségű antenna 8 másodpercenként tesz egy fordulatot. A szekunder radar antenna együtt forog a primerrel, „rákérdez” a primer által felderített objektumra és annak válaszadását veszi. A szekunder radar – mint az ADS-B vevője – nagyteljesítményű (120–200 W) aktív adást vesz, ezért kedvezőbb helyzetben van. Ugyanakkor a primer radar előtt nem lehet/nehéz elbújni, míg a szekunder – és az ADS-B – csak azt látja, aki „együttműködő”, azaz kisugároz azonosítható jeleket. Egyes repülőtereken – mint LHBP-n – a földi kiszolgáló járművekre is telepítenek ADS-B adót – fokozva ezzel a guruló utak biztonságát.

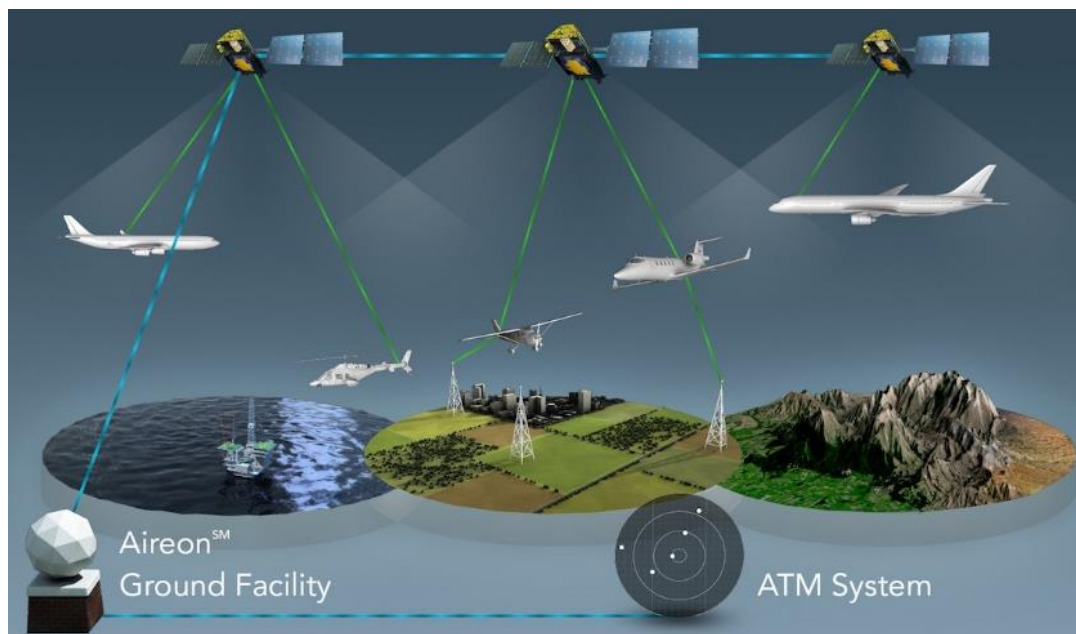
A 2005-ben alapított FlightAware (Houston, Texas, USA) [4] mára 10 000 légiforgalmi szolgáltatót, 12 000 000 utast lát el információkkal – 55 országban működő földi és 175 országot műholdas összeköttetéssel lefedő ADS-B információkkal. A FlightAware-nek adatokat szolgáltatók késleltetés és szűrés nélkül láthatják a felderítésük eredményeit, statisztikákat - a társak tevékenységéről is. A nyilvánosan elérhető felületeken már nem minden jelenik meg – például hiányoznak a katonai repülések, vagy azok, amelyeket a tulajdonosok nem engedélyeztek. A FlightAware szakmai támogatás nyújt a közreműködőknek – a PiAware otthoni építésű vevőállomás megalkotásához részletes útmutató, letölthető program áll rendelkezésre. A légiforgalmi útvonalaktól távoli területeken élő szerencsésebbek (!?) a lefedettség biztosítására ingyenes vevőkészüléket is igényelhetnek.

A Flightradar24 [5] a másik népszerű honlap a légiforgalom iránt érdeklődők között – nemcsak Európában. A 2006-ban alapított stockholmi székhelyű cég adatszolgáltatóinak száma több

mint 20 000 – a honlap szerint. A napi „forgalmuk” 150 000 repülőjárat, amit több mint 2 millióan tekintenek meg. Az Airbus, Boeing, Embraer és a nagy légitársaságok is a felhasználók között szerepelnek. Aki vállalkozik vevőberendezés üzemeltetésére – Magyarországon közel százan – annak hozzáférést adnak az évi 500 \$ összegért elérhető „Business” szolgáltatásokhoz.

Az ADS-B adások vétele egyre népszerűbb a rádióamatőrök, repüléstechnika és légiforgalom iránt érdeklődők között. Számos nonprofit szerveződés található a „nagyok” árnyékában – amelyek nem kisebb szakmai értékeket közvetítenek a résztvevők számára. Ebbe a kategóriába tartozik az RTL1090, PlanePlotter és bizonyos szempontból az ADS-B Exchange is. Az utóbbi nem zárja ki adatbázisa üzleti felhasználású értékesítését és aki a FlightAware -nek dolgozik az ADS-B Exchange-nek is elküldheti ugyanazokat az adatokat.

Az ADS-B vevőhálózatok már (többé-kevésbé) lefedik a légi járatok útvonalainak szárazföld fölötti részét, azonban az óceán fölött repülő gépeket (ugyanúgy, mint a radarok) csak 3–400 km-ig tudják követni. Az igazi áttörést a 2019-re teljesen elkészült AIREON [6] rendszerbe állítása jelenti, mely az ADS-B adások műholdakon telepített vevőivel gyakorlatilag 100%-os lefedettséget biztosít a Föld-körüli légtérben. Az alacsony pályán (780 km) keringő 66 Iridium NEXT műhold olyan tengerek-, hegyes-dombos vidékek feletti repülések ADS-B adásait is venni tudja, melyek a földi telepítésű vevőkkel nem voltak elérhetőek.



2 ábra Az Aireon szolgáltatásai – „felteszik az i-re a pontot” [7]

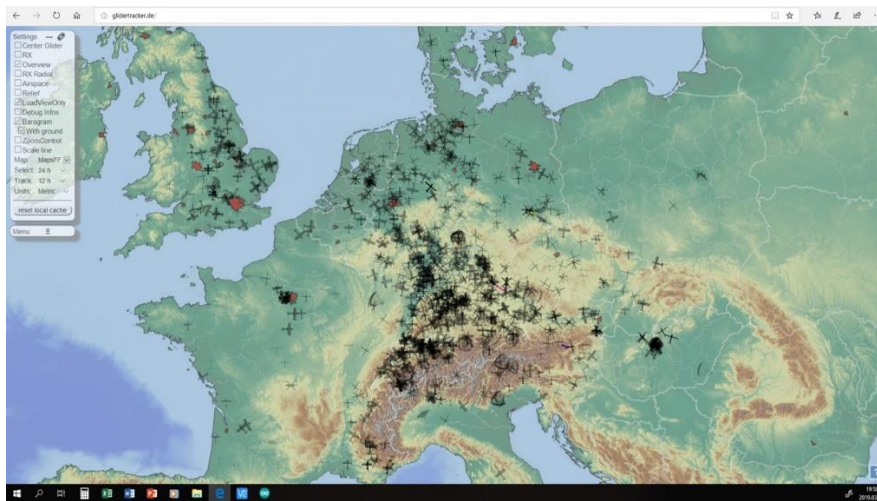
Az AIREON tekintélyes közreműködő/támogató/vásárló környezettel (Nav Canada, UK NATS, ENAV, IAA, Naviair, Isavia, CAAS of Singapore, ATNS of South Africa, DC-ANSP, ASECNA, Seychelles) vághat neki a következő nagy kihívás – a világméretű szolgáltatás felé vezető útnak.

Az ADS-B rendszer a radarokkal összemérhető hatótávolságot biztosít – ugyanakkor korlátot is jelent a teljesítményigénye miatt a vitorlázó, siklórepülő, drón osztály számára. A továbbiakban azokat a lehetőségeket vesszük sorra, amelyek az egyre növekvő kisgépes forgalomban is használhatók.

## OPEN GLIDER NETWORK – NEMCSAK VITORLÁZÓKNAK

A vitorlázó repülésben a FLARM<sup>8</sup> megjelenése előtt az évi 30–50 ütközés is előfordult – különösen a hegyes vidékek szűk légi útvonalain nagy sebességgel közlekedők között. A FLARM kisteljesítményű ISM sávú [8] adója a saját helyzetadatokat kisugárzását a fedélzeti vevő és kijelzője pedig a riasztást biztosítja – akkumulátorokról több órán keresztül. Az első eszközök hatótávolsága 3 km volt, az újabb POWERFLARM-ok már 10 km-re „látanak” [9].

Az Open Glider Network [10] „nyílt vitorlázórepülő rendszer” megalkotóit az a tény inspirálta, hogy a FLARM adásokat földi vevők is jól elérhetik – ráadásul a fedélzeti vevők/antennák lehetőségeinél kedvezőbb – átlagosan 70 km – hatótávolsággal. A fejlesztők egy „csináld magad” OGN-TRACKER mozgalmat is elindítottak, amely a nevéhez híven nyílt, fejleszthető forráskóddal hozzáférhető [11]. Az OGN vevőhálózat mindkettőt felismeri és adatait a központi szerverekre továbbítja. A POWERFLARM zárt fejlesztés ipari terméke, míg az OGN-TRACKER a nyitott, innovatív megoldásokat támogató kezdeményezés. A felhasználók számára nem mellékes bekerülési költségek egy nagyságrenddel különböznek – ugyanakkor a garanciák is ennek megfelelően eltérők. A kereskedelmi repülés, pilóta iskolák, versenysport nyilván az EASA által is elismert POWERFLARM mellett dönt, míg a szabadidős, rekreációs, hobbi pilóták megelégedhetnek a „látni és látszani” funkciókat más szempontból teljesítő OGN-TRACKER-ek adta biztonsággal.



3 ábra Európa OGN térképen – egy átlagos tavaszi napon [12]

Az eszközök egyre népszerűbbek – Európában ~35 000 FLARM és ~10 000 OGN-TRACKER működik. Sok motoros repülőgép, siklórepülő, drón is fel lett szerelve ilyen jeladókkal – különösen a vitorlázó légtérben és azok közelében tevékenykedők által preferálva.

A hazai OGN vevőállomások száma örömdetesesen gyarapszik – a Magyar Vitorlázórepülő Szövetség a szakmai felügyeletet, szoftverfrissítést biztosítja. A hazai gyártású TR78, TRB78, TR82-B és TRB82-B OGN-TRACKER-ek már számos tulajdonosnál, repülőtéren, pilóta iskolában szolgálja – az eredeti funkciója szerint – a repülés biztonságát [13].

<sup>8</sup> FLARM – FLight AlARM

A drón-üzemeltetők is kénytelenek lesznek „világítani” valamilyen módon, hogy – méreteik, sebességük, manőverező képességük miatt – a VFR repülésből kizárt státuszukon változtassanak. Jelenleg az elkülönítés az egyetlen megoldás – ennek csak eseti légtérrel lehet megfelelni. A FLARM, OGN-TRACKER alapú követés mellett még van „tartalék” az IT tárházában arra, hogy a drónok tovább közeledjenek integráció feltételeihez [14].

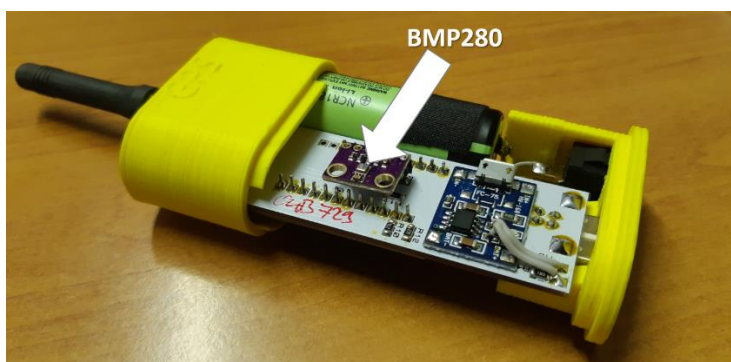
### „LÉGBŐL KAPOTT” METEOROLÓGIA

Eddig a meteorológiai érzékelők jelentős része a földi telepítésű meteorológiai állomásokon működött, a légtér meteorológiai szondázására csak korlátozott helyen, időben, magasságon nyílt lehetőség.

A szél, hőmérséklet, nyomás, páratartalom, ózontartalom, széndioxid tartalom mérésére szolgáló szenzorok és a rögzítést/lesugárzást biztosító elektronika napjainkra méretben és teljesítményfelvételben is olyan mértékben lecsökkent, hogy UAV-k fedélzetére telepítve is működtethetők. A távirányított eszközök széles skáláját lehet hordozóként alkalmazni – az aktuális feladatnak megfelelően.

A NKE „VOLARE” GINOP pályázatának „UAS-ENVIRON” csoportja a repülésbiztonság egyik alapvető tényezője az időjárás és annak változása témában folytat innovatív, kutatásokat. Felhasználva az ezirányú hazai és nemzetközi K+F eredményeket az eddig „fehér foltnak” számító légi érzékelés területén kívánunk új eredményeket felmutatni. A mérések során 3 m feszítávú elektromos meghajtású merevszárnyú repülőgépet és multirotoros helikoptereket használunk. A szenzorok funkcionális működésének – ugyanakkor megfelelő védelmének – biztosítása jelenti a legnagyobb kihívást.

Az OGN-TRACKER-ek is használhatók meteorológiai adatok gyűjtésére és alkalmasak BMP280 (hőmérséklet, nyomás) illetve BME280 (hőmérséklet, nyomás, páratartalom) mérésére szolgáló szenzor adatainak lesugárzására. Az OGN rendszer széles felhasználói köre – motoros, vitorlázó, sárkányrepülők, siklóernyősök, drónok – szenzorhordozókká lépnek elő.

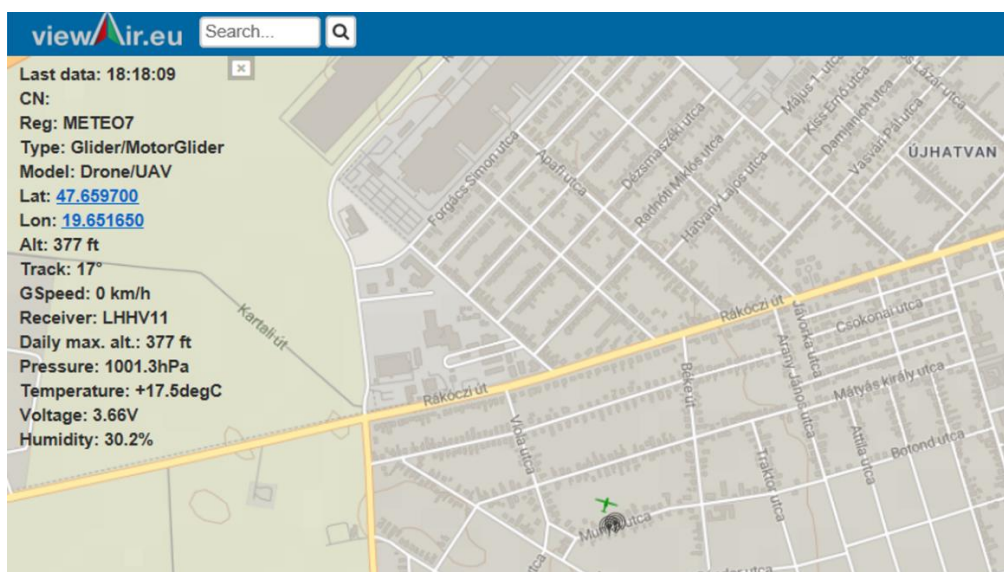


4 ábra BMP280 (hőmérséklet, nyomás) szenzor az OGN-TRACKER-ben [15]

Az útvonalukról lesugárzott meteorológiai adatok WRF rendszerbe asszimilálhatók – az éppen ide tartók számára közölhetők. A frekvenciált légtérekben gyűjtött friss légköri információk – például nyári, viharos, csapadékos időben – jelentős segítséget nyújthatnak a levegőben tartózkodóknak és az irányító/tájékoztató szolgálatoknak.



Az adatok feldolgozása, megjelenítése és közzététele a következő nagy feladat, melynek kivételben széleskörű ismeretekkel rendelkező IT szakemberek vesznek részt – a NKE munkacsoport koordinálásával. Ennek egyik példája a PEVIKTERA – NAUBIT összefogással készült „ViewAir” [16] felület, amely a drónok fedélzetén működő meteorológiai szenzorok adatait is megjeleníti.



5 ábra A METEO7 drón fedélzetén működő szenzorok adatai [17]

Az adatok az OGN hálózathoz tartoznak – így bárki számára elérhetőek. A saját feltöltésűek természetesen „primer” formában is rendelkezésre állnak. Az OGN hálózat meteorológiai adatforrásként való felhasználása – bár az alapítók ezzel feltehetően számoltak – nem egyszerű feladat és ezért az UAS-ENVIRON munkacsoportjának egyik új kutatási iránya az adatfúzió megoldása mellett az adat-disztribúció lehetőségeinek felmérése lesz.

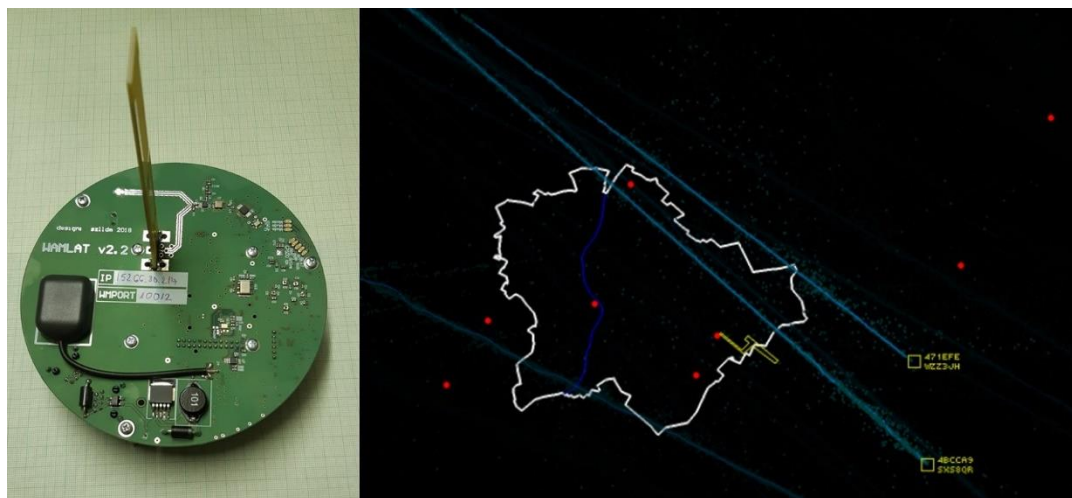
## INFORMÁCIÓSZERZÉS – MULTILATERÁLISAN

Az ADS-B adások „névjegyei” megkönnyítik az azonosítást, ugyanakkor felvetik a hamisított helyzet-információk létrehozásának lehetőségét. Ha valaki (tréfából/rossz szándékkal) szimulál egy hamis pozícióadattal rendelkező légitörvényt és azt kisugározza – nyilvánvalóan nem a megadott koordinátájú helyről – akkor ez a széttelepített vevőállomásokon az időkésleltetések miatt azonnal kiderül. A multilaterális – több vevő szinkron idejű működtetéséből származó – adatfeldolgozás egyik feladata tehát az ADS-B környezetben az imitált jelek kiszűrése lehet.

A másik, nagyon értékes szolgáltatás az S-módú transzponderek adásának helymeghatározása. Ez hasonló feladat, mint az ADS-B validálása – csak itt nem áll rendelkezésre a jelcsomagban a (GPS-, GNSS forrású) helyzet-adat, amivel össze lehetne hasonlítani. Az ADS-B népszerű megjelenítő felületein (FlightAware, FlightRadar24, ADS-B Exchange) is látható azon repülőgépek jele, amelyek nem működik ADS-B adó, viszont az S-módú transzponderük alapján követhetőek.

Azt, hogy a rendszer működőképes, a BMGE Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék (HVT) Mikrohullámú Távérzékelés Laboratóriuma (MTL) 2012-óta folyó WAMLAT kutató-

sainak eredményei igazolják [18]. A jelenleg folyó kísérletekben – egy állomás üzemeltetésével – a szerző is részt vesz. A cél a lefedettség és az érzékelési tartomány kiterjesztése – az utóbbi az OGN (868 MHz) frekvenciatartomány irányába.



6 ábra Egy WAMLAT vevőállomás és két repülőgép útvonala - multilaterális mérés eredményeként [19]

A multilaterális mérések kulcsfontosságú feltétele a közös időalap, melynek (műholdas időszinkron, vagy Ethernet hálózat) biztosításával a rendszer minden eleme azonos „időszámítási zónába” kerül.

A multilaterális vevőhálózat használható visszavert jelek helymeghatározására is. Az energiaforrás egy rádióadó (lehet akár egy műsorszóró is) amely valamilyen objektumról (légijármű, felhő) visszaverődött rádióhullámait több széttelepült vevőállomás érzékeli. Az állomások időkésleltetéseit egy központi szerver a besugárzást végrehajtó adó jeléhez hasonlítja – ez alapján a visszaverő felület koordinátája kiszámítható.

Nagyon előremutató fejlesztésről adott hírt a HungaroControl.[20] Az alap gondolat, hogy multilaterális eljárással meghatározható a GSM hálózatban működő telefonok térbeli helyzete már ismert.[21] A mérést a cella kiszolgáló állomások végzik, amelyet – a tulajdonos hozzájárulásával – nyilvánosságra hozhatnak. A helyzetinformációk felhasználhatók azon járművek követésére – amelyen a telefon használója utazik. A földfelszíni járművek három, a levegőben közlekedők négy cella adatai alapján követhetőek. A rendszer pilóta nélküli légijárműveknél is alkalmazható – itt telefon helyett elegendő a mobil-internet stick.

A GPS/GNSS alapú navigáció zavarhatóságát kiküszöbölő rendszer a légiforgalom számára új dimenziót nyithat: szükségtelenné válik a transzponder, hiszen a SIM kártya egyértelmű azonosítóval rendelkezik; a légiforgalom irányítás számára eddig „láthatatlan” légijárművek (vitorlázó, UL-, siklóernyős, sárkányrepülő, drón) is megjelennek az információs rendszerben. A kétoldalú adatkapcsolatot kihasználva a földi irányítás is tud forgalmi, időjárás, statikus és dinamikus légtér és NOTAM információkat a fedélzetre küldeni. A nem túl távoli jövőben tehát előfordulhat, hogy nem kell jelentenünk a helyzetünket, hanem azt éppen a tájékoztató hozza majd tudomásunkra. Bár ez technikailag akár már ma lehetséges, még számos jogi, műszaki, infrastrukturális feladatot kell megoldani a rendszeresítésig.

## ÖSSZEGZÉS

A polgári repülésben a radarkorszak a végéhez közeledik – amint ezt a cikkben felsorolt műszaki megoldások alapján látni lehet. A helyzetinformációk már más (radar szempontból másodlagos) forrásokból is megszerezhetők, amelyek elterjedésével a sűrűsödő légiforgalom igényei jobban kielégíthetők. A másodlagos információforrások emellett számos kiegészítő adattal is szolgálhatnak – amely egy radarimpulzus „egyszerű” visszavert jeléből nem várható. Ilyen adat a repülésben rendkívül fontos légköri meteorológia, melynek adatait az új hordozók az adott térből szerzett információkkal tudják naprakészen szolgáltatni.

Az UAS rendszerek biztonságának növelését, annak irányítói és alkalmazói szegmensét támogató egyetemi kutatások sikeresen kapcsolódnak az egyetemes légiközlekedés-biztonság nagyléptékű feladataihoz – a VOLARE program célkitűzésének megfelelően.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Automatic dependent surveillance – broadcast url: [https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic\\_dependent\\_surveillance\\_-\\_broadcast](https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_dependent_surveillance_-_broadcast)
- [2] ADS-B Introduction url: [https://www.icao.int/APAC/Mee-tings/2012\\_SEA\\_BOB\\_ADSB\\_WG8/SP01\\_AUS%20-%20ADS-B%20Basics.pdf](https://www.icao.int/APAC/Mee-tings/2012_SEA_BOB_ADSB_WG8/SP01_AUS%20-%20ADS-B%20Basics.pdf)
- [3] Szerző saját felvétele – baloldali ábra. AIRAC AIP AMDT 003/2019 ENR 1.6-4 url: <https://ais.hungarocntrl.hu/aip/2019-04-25/> - jobb oldali ábra.
- [4] About FlightAware url: <https://flightaware.com/about/>
- [5] Flightradar24 url: <https://www.flightradar24.com/about>
- [6] SPACE-BASED ADS-B MAKING GLOBAL AIR TRAFFIC SURVEILLANCE A POWERFUL REALITY. url: <https://aireon.com/>
- [7] NATS Takes \$69 Million Stake in Aireon url: <https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2018-05-16/nats-takes-69-million-stake-aireon>
- [8] A KIS HATÓTÁVOLSÁGÚ ESZKÖZÖK (SRD-k) FELHASZNÁLÁSÁRÓL url: [http://nmhh.hu/dokumentum/319/kis\\_hatotavolsagu\\_eszkozok\\_srdk.pdf](http://nmhh.hu/dokumentum/319/kis_hatotavolsagu_eszkozok_srdk.pdf)
- [9] PowerFLARM url: <https://flarm.com/products/powerflarm/>
- [10] Open Glider Network url: <http://wiki.glidernet.org/>
- [11] Cheap Do-It-Yourself OGN tracker url: <http://wiki.glidernet.org/ogn-tracker-diy>
- [12] Szerző saját felvétele
- [13] Peviktera Consulting Kft url: <https://www.peviktera.hu/index.php/hu/>
- [14] Áttörés a pilóta nélküli légi járművek helymeghatározásában url: <https://www.netbriefing.hu/HU/mydronespace.html>
- [15] Szerző saját felvétele
- [16] ViewAir url: <https://viewair.eu/>
- [17] Szerző saját felvétele
- [18] Multilateráció a gyakorlatban – WAMLAT pilotrendszer url: [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2013\\_cikkek/2013-2-53-Szullo\\_Adam.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-53-Szullo_Adam.pdf)
- [19] Szerző saját felvétele
- [20] Blazsovszky György: NetBriefing és MyDroneSpace url: <https://www.youtube.com/watch?v=RD0gq0Ahngc&t=944s>
- [21] Mobile phone tracking url: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile\\_phone\\_tracking](https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_phone_tracking)

### SECONDARY INFORMATION SOURCES IN AIRSPACE

---

*Airspace traffic and saturation are growing, putting ever greater challenges on its participants. Tracking the position and movement of civil and military aircraft is "classically" based on primary data measured by radars - and is not expected to change in military aviation. At the same time, civil aviation systems can also be used for self-reporting systems that can provide information in the absence of radar coverage. Participants in public, small and large-scale drone flying are sharing their GNSS-based data with airspace users and can greatly contribute to increased security with ground control. These are presented in the article, supplemented by the experience gained during the university research and development.*

**Keywords:** Airspace, Information, GNSS, ADS-B, FLARM, OGN

---

Dr. Makkay Imre, CSc  
nyugalmazott egyetemi tanár  
drmi48@gmail.com  
orcid.org/0000-0003-3513-1310

Dr. Makkay, Imre CSc  
professor emeritus  
drmi48@gmail.com  
orcid.org/0000-0003-3513-1310

---

A GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légitörlekedés-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 „UAS ENVIRON” nevű kiemelt kutatási területén valósult meg.



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/266/38>

Békési Bertold, Ludányi Lajos

## A HOMER AUTOTUNER ALKALMAZÁSA AZ AKTÍV SZENEK MIKROHULLÁMÚ VIZSGÁLATA SORÁN

DOI: 10.32560/rk.2019.1.10

*A szerzők bemutatják az aktív szénre jellemző mikrohullámú paramétereiket, melyet az S-TEAM gyártó cég HOMER Autotuner STHT V1.4 típusú, ipari mikrohullámú rendszereknél alkalmazott automatikus mérő-és impedancia-illesztő berendezés segítségével mértek.*

**Kulcsszavak:** aktív szén, Homer autotuner, mikrohullámú rendszerek, permittivitás, abszorpciós tényező

### BEVEZETÉS

A különböző nagyfrekvenciás (ezen belül a mikrohullámú) anyagvizsgálatok bizonyították, hogy a szénvegyületek és az elszéneseedett anyagok nagymértékben abszorbeálják a mikrohullámú energiát. Ezért felvetődött annak gondolata, hogy a vizsgálatokhoz szükséges magas hőmérsékletet és energiasűrűséget egy megfelelően méretezett, és kialakított berendezés segítségével és mikrohullámmal hozzuk létre.

Az aktív szén más, villamosan vezető tulajdonságú anyagokkal ellentétben másképpen viselkedik elektromágneses térben. Az aktív szén az általunk alkalmazott frekvencián kis értékű  $\epsilon'$  – permittivitással és  $\epsilon''$  – abszorpciós tényezővel rendelkezik, amely nem indokolná a besugárzáskori intenzív hőmérséklet-emelkedéseket. Az ellentmondást a szén azon tulajdonsága oldja fel, hogy kis  $c$  – fajhővel, nagyságrendekkel kisebb  $\rho$ -fajlagos ellenállással (amely a negatív hőfoktényező miatt tovább csökken a hőmérséklet növekedésekor), és nagy  $S$  vezetőképességgel rendelkezik.

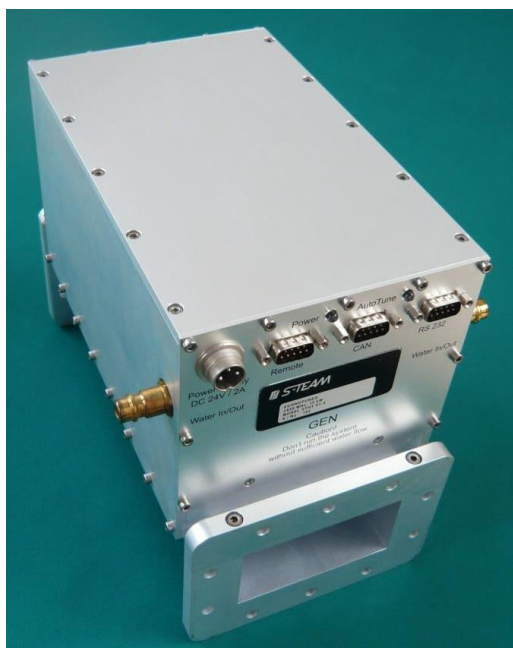
Az anyagra jellemző mikrohullámú paramétereiket, az S-TEAM gyártó cég HOMER Autotuner STHT V1.4 típusú, ipari mikrohullámú rendszereknél alkalmazott automatikus mérő-és impedancia-illesztő berendezésével mértük. [1][4][6].

### Az STHT 2,45 GHz-es Autotuner

A HOMER sorozatú STHT 2.45-GHz-es Autotuner egy kompakt egységben integrálja a HOMER analízátort (automatikus impedancia és teljesítménymérő rendszer) és a HOMER Mototuner (háromszondás motoros tuner). Az R-26 (WR-340) hullámvezetőn alapuló rendszer a magnetron alapú mikrohullámú generátorok teljes működési feltételei mellett működik. Az elemző rész a reflexiók együttható nagyságát és fázisát, valamint a haladó, a visszavert és a disszipált teljesítményt és frekvenciát méri.

A Mototuner három mozgatómotoros tuning csonkból áll, amelyek a névleges tápvonali hullámhossz egynegyedének egymástól való távolságával vannak elhelyezve.

A Tuner az Analyzer által mért adatokat használja az időben változó terhelések gyors automatikus impedancia illesztésére, pl. a félvezető gyártásban és más ipari alkalmazásokban, beleértve a plazmát is. A rendszert CW<sup>1</sup>, RECTIFIED és PULSED üzemmódokhoz tervezték (1. ábra) [1][4][5][6].



1. ábra A vízhűtésű HOMER Autotuner STHT V1.4 [4]

Az STHT alkalmazásai:

- önállóan működő, külső vezérlés nélküli alkalmazás;
- személyi számítógépről vezérelve RS232 vagy CAN Bus interfészen keresztül;
- LabVIEW környezetbe integrálva;

Működés elve

A STHT elemző része a hatportos reflektométer (SPR2) elvén alapul. Az SPR alkalmas arra, hogy mérje a terhelés komplex reflexiók tényezőjét, valamint a haladó, a visszavert és a disszipált teljesítményeket. A rendszerbe egy frekvenciaszámláló is integrálódik [3].

Az ilyen típusú reflektométerek különösen alkalmasak ipari alkalmazásokhoz, ahol az on-line felügyelet és ellenőrzés teljes munkaidő mellett szükséges.

A tuner frekvencia-függő áramkört használ a szonda-pozíciók optimális beállításához, mely paramétereket a HOMER Analyzer méri és továbbítja a léptető motorok meghajtóihoz.

A prediktív algoritmusnak köszönhetően elkerülhetőek az időigényes próbaverziók és hibák optimalizálási sémái, amelyek lehetővé teszik a rosszul illeszkedő terhelések gyors és pontos illesztését.

A mintavétel módjai

Az STHT három mintavételi módot támogat:

<sup>1</sup> Continue wave (CW) – folyamatos hullámú üzemmód

<sup>2</sup> six-port reflectometer (SPR)

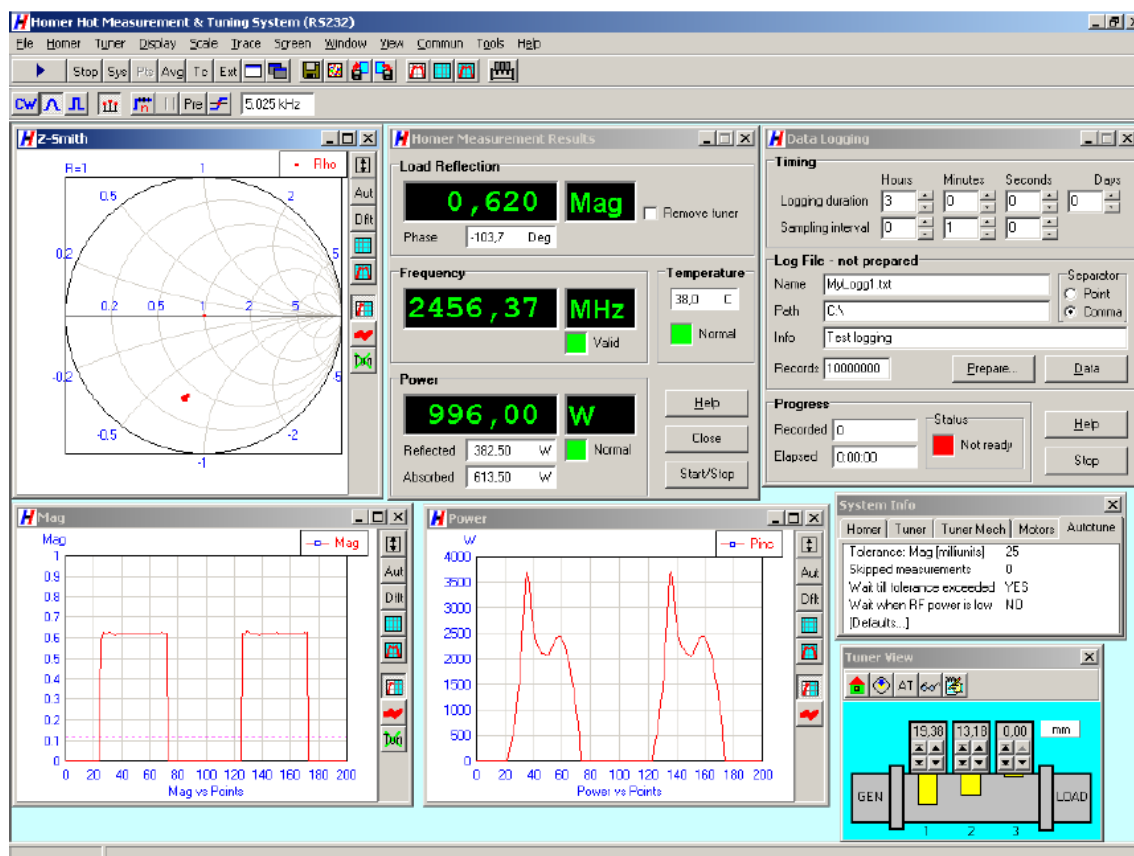
- A **CW üzemmód**: a moduláció nélküli mikrohullámú jelekre vonatkozik;
- Az **RECTIFIED üzemmód**: lassan pulzáló mikrohullámú jelekhez tervezték (maximum 400 Hz frekvenciáig). Az ilyen jelek jellemzőek az alacsony költségű tápegységek által működtetett magnetronok esetében, amelyek egyszerű félhullámú vagy teljes hullámú egyenirányítót tartalmaznak.
- A **PULSED üzemmód**: (opcionális) elsősorban a gyors négyszögimpulzus-modulált mikrohullámú jelek leképezésére szolgál, különböző impulzusszélességekkel egészen 100  $\mu$ s-ig.

A Rectified és a Pulsed üzemmódokban biztosítva van a reflexiós koeficiensek és a teljesítmények pillanatnyi, valamint az átlagértékek mérése. Az impedancia illesztés a komplex reflexiós tényező átlagértékén alapul [1][2][4][5][6].

### HomSoft vezérlési, vizualizációs és adatnaplózó szoftver

Bár önálló rendszerként tervezték, a HomSoft vezérlési, vizualizációs és adatnaplózó szoftver jelentősen bővíti a rendszer képességeit (2. ábra). Az alapvető funkciók a következők [1]:

- Microsoft Windows® környezet
- A komplex visszaverődési tényező pontos mérése és megjelenítése különböző formátumokban, többek között:
  - Magnitúdó (Mag);
  - Fázis (Phase);
  - Visszatérési veszteség (Return Loss);
  - VSWR (Feszültség Állóhullám-arány)
  - Poláris kijelző;
  - Smith Charts (Z-impedancia és Y-admittancia diagramok);
  - Rieke-típusú diagram;
  - Haladó, visszavert és abszorbeált teljesítmény mérése és megjelenítése különböző formátumokban, beleértve a wattokat, a decibeleket, a teljesítmények százalékát;
  - A jelfrekvencia, a terhelési reflexiós koeficiens ( $\Gamma$ ) és a különböző formátumok numerikus kiolvasása;
  - A mérési sík önkényes elmozdítása ( $\Gamma$ ,  $\Gamma$ );
  - A mért adatok mentése táblázatokba (szöveges fájlokba) vagy képekbe (BMP, GIF, JPG);
  - A mért mennyiségek összes vagy néhány időszakos adatnaplózása;
  - Több ablak, amelyek lehetővé teszik különböző mennyiségek egyidejű megfigyelését különböző formátumokban;
  - A megjelenített görbék megjelenésének széles választéka;
  - Az egyes feladatokhoz igazított teljes rendszerbeállítások tárolása és visszakeresése;
  - Grafikus interfész a tuner-vezérléshez (a szondák kézi mozgatása, lépésenkénti/folyamatos önműködés);
  - Előírt forgatókönyv a szondák mozgatásához;
  - A DDE szerver opció lehetővé teszi egy másik Windows alkalmazás számára a mérési eredmények megosztását;
  - Kiterjedt online segítség [1][2][4][5][6].

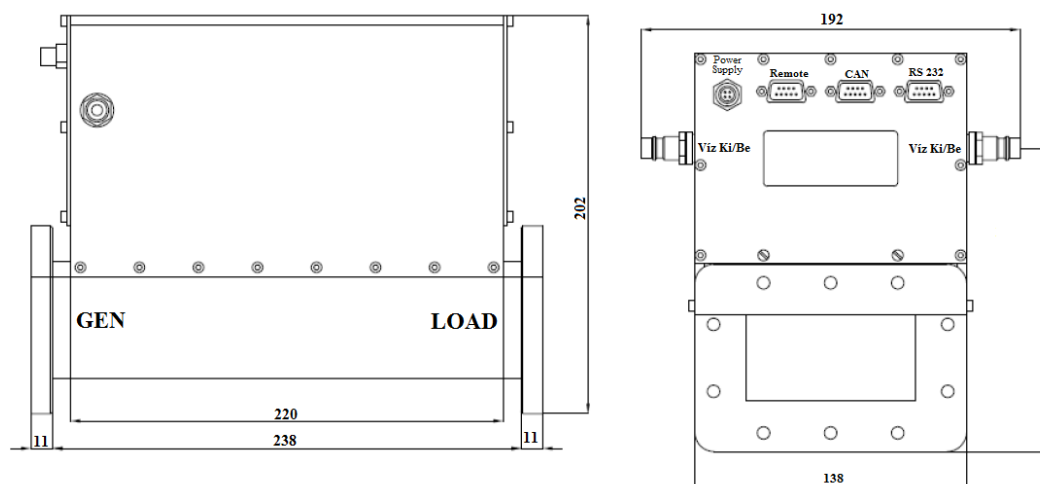


2. ábra A HomSoft kezelő felülete [4]

Tápvonal típus	R-26 (WR-340)
Karima típus	IEC
Frekvenciatartomány	2425 - 2475 MHz
Maximális bemeneti teljesítmény	30 kW
Minimális működési teljesítmény	100 W
Dinamikus működési teljesítmény tartomány	20 dB
Reflexiókoefficiens, mérési hiba	0,05
Haladóteljesítmény mérési hiba (illesztett terhelés)	± 5%
Tápfeszültség	24 V ± 10% DC
A csúcsáram-felvétel	2,5 A (normál motorok) 3 A (gyors motorok)
Áramfelvétel	1,3 A
Interfész	RS232 vagy RS422, opcionálisan CAN busz
A jelek mintavételének módjai	CW, helyesbített, impulzusos
Max. hullámszám CW módban	A csúcsérték 15%-a
A jelzés maximális ismétlési sebessége Rectified módban	10 kHz
Min. impulzusszélesség pulzus üzemmódban	100 µs

1. táblázat A HOMER Autotuner STHT V1.4 műszaki paraméterei [4][5]





3. ábra A vízhűtésű HOMER Autotuner STHT V1.4 alpméretei [4]

### Az aktív szén mikrohullámú vizsgálata

Az aktív szén mikrohullámú vizsgálata különleges feladatot jelent. A mikrohullámú térben a felvett és a minta által átalakított energiát az elektromos térerő és frekvencia mellett - a szén dielektromos állandója határozza meg.

Az szén egy igen összetett anyagi rendszer. A mikrohullámú besugárzás során megváltozik az anyagi minőség, és ennek következtében a minta dielektromos állandója, és a felvett energia is megváltozik. Bonyolítja a helyzetet, hogy a minta dielektromos állandója még a hőmérséklet függvényében is nő, vagy csökken (például a víznél:  $\epsilon'(T)=87-0,36 \cdot T$ , illetve  $\epsilon''(T)=283/T-1,17$  alapján csökken) (2. táblázat).

	f=2,45 GHz			$\Lambda$	c	$\rho$	S	$-\beta$	T
	$\epsilon'$	$\epsilon''$	tg $\delta$						
Víz	81	13	0,16	1,23	4,2	2,35	0,42	$1,37 \cdot 10^{-5}$	20
Szén	7,23	0,412	0,057	4,07	0,84	$3 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^4$ $1,6 \cdot 10^3$	$50 \cdot 10^{-5}$	20
				$\frac{W}{m^{\circ}C}$	$\frac{kJ}{kg^{\circ}C}$	$\Omega m$	$\frac{S}{m}$	$\frac{1}{^{\circ}C}$	$^{\circ}C$

 2. táblázat A víz és a szén villamossági szempontból vizsgált anyagi jellemzői<sup>3</sup>

A táblázat szénre jellemző anyagi paramétereiből, tehát kiemelendő néhány (a mikrohullámú hőfejlesztés szempontjából lényeges) adat, melyek a következők:

- a szén permittivitása  $\epsilon_r'$ ;
- a szén abszorpciós tényezője  $\epsilon_r''$ .

A két dielektromos adat viszonya megadja a tg $\delta$  veszteségi tényezőt is:  $tg\delta = \epsilon_r'' / \epsilon_r'$ . Mint ismeretes, a veszteséges közeggel kitöltött térben a síkhullám  $Z_T$  hullámimpedanciája ( $\Omega$ -ban):

$$Z_T = \frac{377}{\sqrt{\epsilon_r'(T)}} \left[ 1 - \frac{3}{8} [tg\delta(T)]^2 + j \frac{1}{2} tg\delta(T) \right] \quad (1)$$

<sup>3</sup>  $\Lambda$  - hővezetési tényező; c – fajhő;  $\rho$  - fajlagos ellenállás; S – fajlagos elektromos vezetőképesség;  $-\beta$  - hőfoktényező (negatív hőfoktényező)

A fenti összefüggésből az is következik, hogy ha besugárzáskor növekszik a minta hőmérséklete, változik a minta permittivitásának és veszteségi tényezőjének értéke, amely megváltoztatja a veszteséges közeggel (a szénnel) töltött tér  $Z_T$ -impedanciáját, ez pedig megváltoztatja a visszavert (reflektált) és ezzel együtt a minta belsejében abszorbeált energiát.

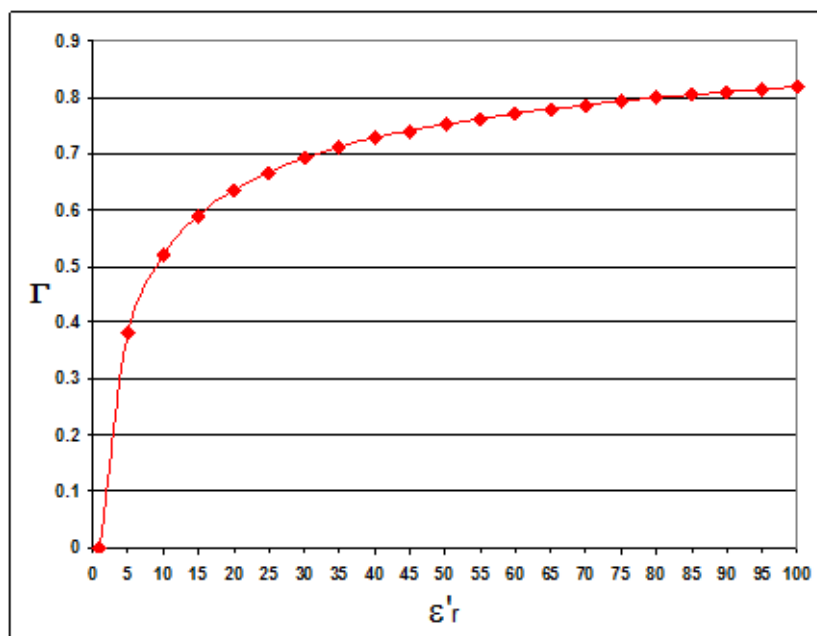
Az előzőekben leírtak elemzéséhez tekintsük a következő összefüggéseket:

$$\Gamma(T) = \sqrt{\frac{P_R(T)}{P_I}} = \frac{\sqrt{\varepsilon_r'(T)} - 1}{\sqrt{\varepsilon_r'(T)} + 1} \quad (2)$$

$$P_{ABS}(T) = (1 - \Gamma^2(T))P_I \quad (3)$$

ahol:  $P_I$  - bemeneti,  $P_R$  - reflektált,  $P_{ABS}$  - abszorbeált teljesítmények

A reflexiós tényező a permittivitás függvényében látható a 4. ábrán:

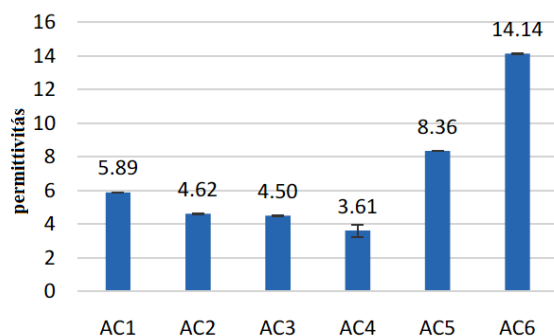


4. ábra A reflexiós tényező a permittivitás függvényében

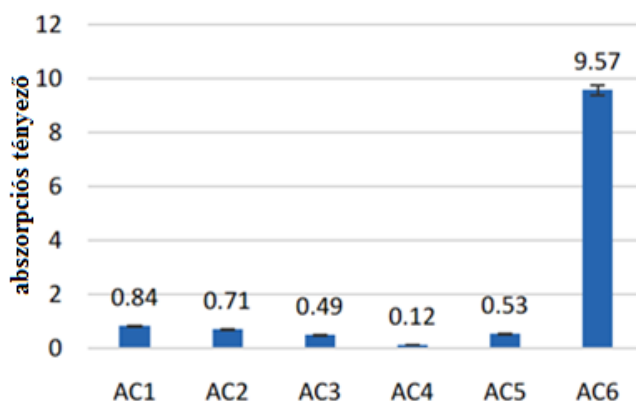
A szénnek kis értékű dielektromos paraméterei vannak, viszonyítva a vízhez (lásd 1. táblázat), amely még kisebb reflexiót és még nagyobb abszorbeált teljesítményt biztosít.

Az aktív szén dielektromos paramétereit már közölték a különböző kutatási jelentésekben és publikációkban<sup>4</sup> (5. és 6. ábra), azonban ezek a vizsgálatok többnyire a különböző típusú aktív szenek dielektromos állandóinak frekvencia-függését vizsgálta, 100 MHz–5 GHz-es tartományban [7].

<sup>4</sup> Fatma Shkal, Susana Garcia Lopez, Daniel Slocombe, Adrian Porch Microwave Characterization of Activated Carbons, [Online]. Available: [https://file.scirp.org/pdf/JCC\\_2017122809391812.pdf](https://file.scirp.org/pdf/JCC_2017122809391812.pdf)



5. ábra Az aktív szenek  $\epsilon'$  permittivitásai [7]



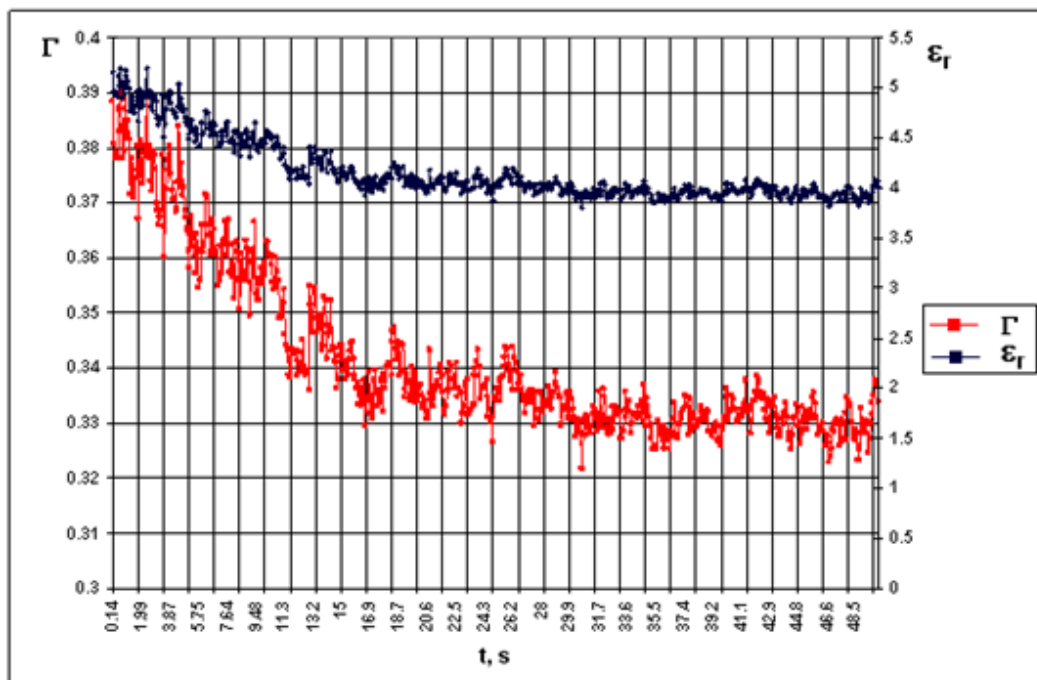
6. ábra Az aktív szenek  $\epsilon''$  abszorpciós tényezői [7]

A [7] publikációban közölt eredményekhez hasonlítottuk az általunk mért 100 g mennyiségű kompakt száraz aktív szén dielektromos állandójának értékét egy olyan mérési összeállítással, melyben a HOMER Autotuner mért adatait használtuk fel (7. ábra).

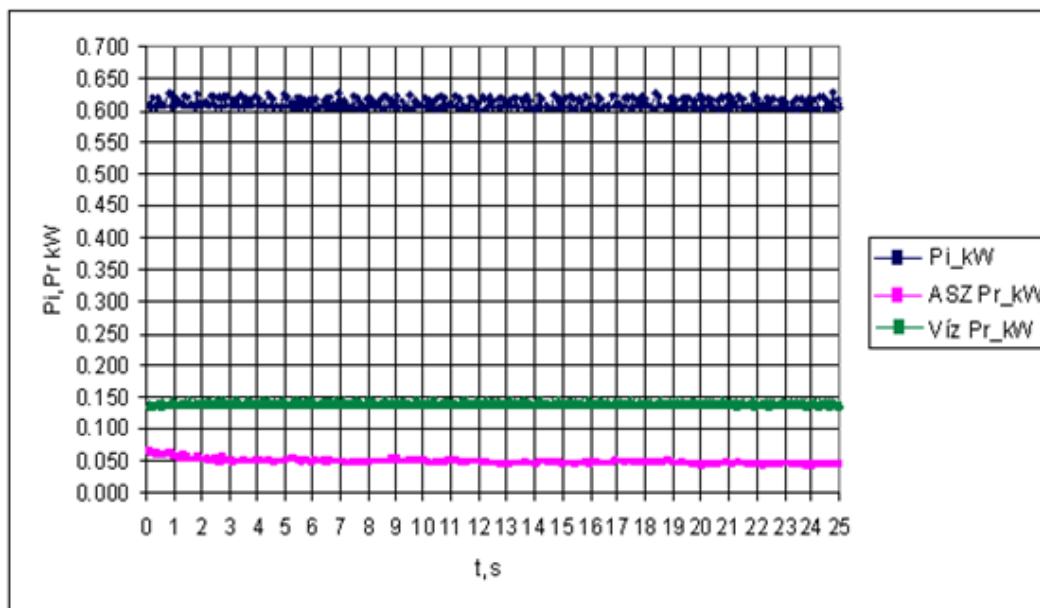


7. ábra Összeállítás az aktív szén dielektromos állandójának méréséhez

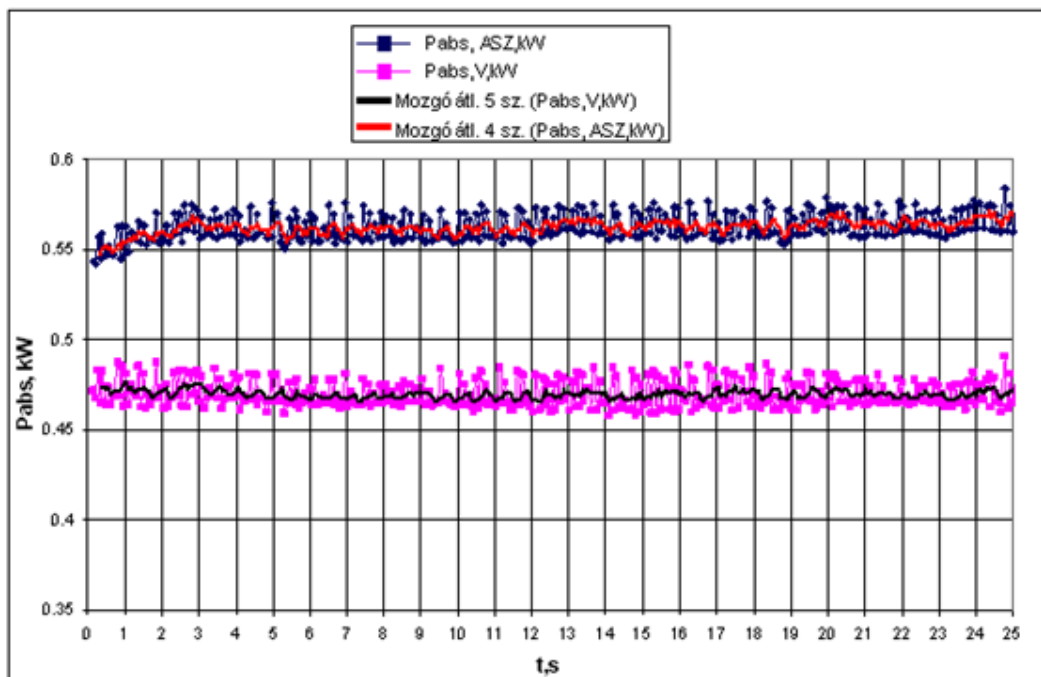
A rendszerrel mérhető volt a munkatérben elhelyezett töltet reflexiós tényezői, az állóhullám-arányok, a terhelés fázistolásai, a haladó irányú, a reflektált és az abszorbeált teljesítmények értékei. A mért adatokat, az RS-porton keresztül beadva a vezérlő-jelfeldolgozó számítógépbe, kaptuk a következő grafikonokat (8., 9., 10. ábrák):



8. ábra Az aktív szén dielektromos állandójának és a reflexió tényező értékének változása az 50s-os besugárzási idő függvényében



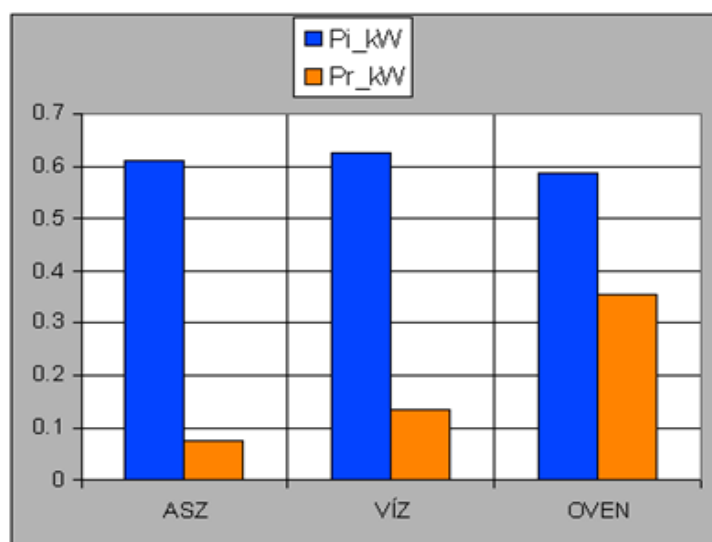
9. ábra Az aktív szén és az azonos mennyiségű víz 25s-os besugárzásakor mért reflektált teljesítmények idősorai



10. ábra A hővé alakuló abszorbeált teljesítmények aktív szennél és víznél

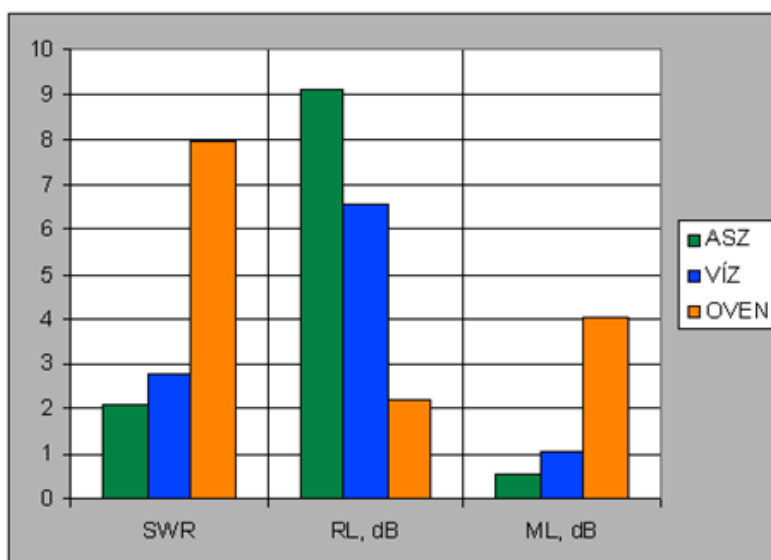
## ÖSSZEFOGLALÁS

A mért aktív szén dielektromos állandója (mind a permittivitásra, mind pedig az abszorpciós tényezőre vonatkozóan) a vízhez viszonyítva kis értékű, ezáltal kisebb a reflexiója, illetve nagyobb a teljesítményre vonatkoztatott abszorpciója. A mérések azonos kezdeti feltételek (mikrohullámú bemeneti teljesítmény, kezdeti hőmérséklet, tömeg, besugárzási idő) mellett voltak végrehajtva (11. ábra).



11. ábra. A reflektált és haladó irányú teljesítmények, különböző applikátor terheléseknél.

A mért adatokból meghatározhatjuk a különböző terhelések (ASZ – aktív szén, VÍZ, OVEN) visszaverődési paramétereit, az SWR (Standing Wave Ratio - Állóhullámarány), Return Loss [dB] (Visszatérési veszteség), és Mismatch Loss [dB] (Illesztetlenségi veszteség) értékeit (12. ábra).



12. ábra A különböző terhelések visszaverődési paramétereit

A kapott eredmények kompakt száraz aktív szenekre vonatkoznak. Amennyiben a töltet nagy nedvesség-tartalmú, a nedves anyag dielektromos állandója is különbözni fog mind a száraz aktív szén mind pedig a víz dielektromos állandójától. Az ilyen kevert (mixelt) dielektromos állandó meghatározható például a Landau-Lifshitz, Looyenga összefüggése alapján:

$$\sqrt[3]{\varepsilon'_M} = V_V \sqrt[3]{\varepsilon'_V} + V_{ASZ} \sqrt[3]{\varepsilon'_{ASZ}} \quad (4)$$

$$V_V + V_{ASZ} = 1 \quad (5)$$

ahol:  $V_V$  és  $V_{ASZ}$  a víz és az aktív szén térfogat egységei.

$$P_d = \omega \varepsilon_0 \varepsilon_r'' E^2 = \omega \varepsilon_0 \varepsilon_r' \tan \delta E^2 \quad (6)$$

A (6) összefüggésből következik, hogy az abszorpciós tényező ( $\varepsilon_r''$ ) minél nagyobb, annál nagyobb a hővé alakuló  $P_d$  disszipált teljesítmény. Azonban a mérések, a kutatási jelentések mindegyike, az aktív szén abszorpciós tényezőjének kis értékét (0,1–0,9) adják, ennek ellenére igen intenzív az aktív szén felmelegedése a mikrohullámú térben. Az ellentmondást a szén (az aktív szén), és a mikrohullám villamos terének kölcsönhatása oldja fel.

Ha a villamos áram homogén, mindenütt azonos hőmérsékletű vezetőben folyik (kivéve a szupravezetőket), akkor mindig keletkezik irreverzibilis hő-folyamat, a Joule-hatás (Joule-hő). A fejlődő hőt a környezet veszi fel, miközben magában a vezetőben növekszik a hőmérséklet.

Ha a vezető nem homogén, vagy nem egyenletes hőmérsékletű, akkor a Joule-hatás átfedi a reverzibilis hatásokat. Mivel ez utóbbiak az áramsűrűséggel arányosak, a Joule-hatás pedig az áramsűrűség négyzetével, a Joule-hő válik uralkodóvá, kivéve, ha az áram értéke rendkívül kicsi. A Joule-hő ezen kívül a vezető ellenállástól függ, és ennek törvényszerűsége makroszkopikus viszonylatban egyszerűen kimutatható.

Az eddigiek alapján nyilvánvaló, hogy a villamos térbe helyezett szénben (és az aktív szénben is) intenzív Joule-hő fejlődik, amely a szén kis értékű villamos ellenállásának, a kis értékű fajhőjének és a negatív hőfoktényezőjének köszönhető.

A Joule-hő nemcsak U egyenfeszültségű táplálás esetén jön létre, hanem nagyfrekvenciás elektromágneses terekben is kialakul az anyag belsejében. Ezekben a terekben a mikrohullám E [kV/cm] villamos téréreje hat a szénre, és a térerő értéke függ a mikrohullámú generátor teljesítményétől, a munkatér (az applikátor) kialakításától, méretétől, az üzemi frekvencia és az ehhez kapcsolódó üzemi hullámhossz értékétől.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] HOMER High Power Automatic Impedance/Power Analyzer and Matching Systems, [Online]. Available: [http://www.s-team.sk/products/homer\\_autotuners.html](http://www.s-team.sk/products/homer_autotuners.html)
- [2] Power Transmission Theory and Calculator [Online]. Available: [http://www.s-team.sk/software\\_download.php](http://www.s-team.sk/software_download.php)
- [3] Six-Port Measurement Technique: Theory and Applications [Online]. Available: [http://www.s-team.sk/technical\\_info.php](http://www.s-team.sk/technical_info.php)
- [4] HOMER Autotuner ISM 2.45 GHz, [Online]. Available: [http://www.s-team.sk/pdf/homer\\_autotuner\\_2450\\_R26.pdf](http://www.s-team.sk/pdf/homer_autotuner_2450_R26.pdf)
- [5] Richardson Electronics. 2.45GHz 30kW WR340 Autotuner, [Online]. Available: [https://www.relltubes.com/filebase/en/src/Datasheets/2\\_45GHz-30kW-WR340-ECOTUNER.pdf](https://www.relltubes.com/filebase/en/src/Datasheets/2_45GHz-30kW-WR340-ECOTUNER.pdf)
- [6] User's Handbook Homer Hot Measurement and Tuning System S-TEAM Lab, [Online]. Available: <http://www.s-team.sk/download/HomerHbook5004-58.pdf>
- [7] Fatma Shkal, Susana Garcia Lopez, Daniel Slocombe, Adrian Porch Microwave Characterization of Activated Carbons, [Online]. Available: [https://file.scirp.org/pdf/JCC\\_2017122809391812.pdf](https://file.scirp.org/pdf/JCC_2017122809391812.pdf) DOI: <https://doi.org/10.4236/jcc.2018.61012>

---

#### ***THE HOMER AUTONUNER USING IS AN ACTIVE CARBONS MICROWAVE TESTING***

*The author presents the microwave characteristics of active carbon, measured by the S-TEAM manufacturer HOMER Autotuner STHT V1.4 using an automatic measuring and impedance matching device for industrial microwave systems.*

**Keywords:** *active carbon, HOMER Autotuner, microwave systems, permittivity, absorption factor*

---

Dr. Békési Bertold (PhD)  
alezredes, egyetemi docens  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztoképző Kar  
Katonai Repülő Intézet  
Fedélzeti Rendszerek Tanszék  
bekesi.bertold@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-5709-789X

Bertold Békési Dr. (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  
bekesi.bertold@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-5709-789X

Dr. Ludányi Lajos (PhD)  
ny. alezredes, főiskolai tanár  
ludanyi.lajos@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-6677-5250

Lajos Ludányi Dr. (PhD)  
ret. Lieutenant Colonel, College Professor  
ludanyi.lajos@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-6677-5250



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/337/39>





Szabolcsi Róbert

## KISMÉRETŰ UAV MODELL PREDIKTÍV ALAPÚ IRÁNYÍTÁSA

DOI: 10.32560/rk.2019.1.11

*Az elmúlt időszakban számos új UAV alkalmazás keltette fel a szakmai körök figyelmét. Csakhogy a legfontosabbakról beszéljük, nem kifejezetten régi keletű a dróntaxi koncepciója, a városnézési célra bérelhető drónok rendelkezésre állása, vagy éppen a lebegő 'rendőrmotorok' koncepciója. A városi épített környezetben tervezett kis-magasságú UAV repülések repülési pályájának tervezése, a pályakövetésre alkalmas UAV-k tervezése számos új feladat elé állítja a tervezőket. Az 'optimális', biztonságos repülési pályán történő repülés lehetővé teszi a repülési idő, és egyben a repülési hatótávolság megnövelését is. Az új UAV alkalmazások azonban előre vetítik a légtér 'zsúfoltságát', és az UAV-UAV, vagy UAV-nem UAV viszonylatban az összeütközések megnövekedett veszélyét is. A szerző célja bemutatni, hogy a modell prediktív alapú irányítás (MPC) jól használható az UAV-k térbeli mozgásának irányítása során, amikor valamilyen előre megadott, referencia repülési pályát kell követnie az UAV-nak.*

**Kulcsszavak:** UAV, összeütközés elkerülés, modell prediktív irányítás.

### BEVEZETÉS, PROBLÉMAFELVETÉS, MOTIVÁCIÓ

A modern pilóta nélküli légitáncok (UAV) ma már rendszerint rendelkeznek valamilyen repülésszabályozó rendszerrel. Számos esetben ezt egy-egy adott ország szabályozói kötelezővé teszik, számos esetben pedig olyan alkalmazói elvárásokkal találkozunk, amely csak automatizálás és robotizálás révén elégíthető ki. nem szabad elfelejtenünk azokról az általános követelményekről sem, amelyek akár szabályozások hiányában is, arra ösztönzik az UAV tervezőket, hogy a megfelelő repülésbiztonsági eléréséhez az UAV automatikus repülésszabályozása elengedhetetlen. Az UAV automatikus repülésszabályozása nemcsak hagyományos funkciókat elégít ki (pl. térbeli helyzet stabilizálása, útvonalrepülés, automatizált felszállás, automatizált leszállás, repülés sebesség és magasság stabilizálása, útirány stabilizálása stb.), hanem számos vészhelyzeti repülési szituáció kezelésére is felkészítik (pl. kényszerleszállások automatizálása, leszállóhelyek automatizált azonosítása, összeütközés elkerülése, kommunikációvesztés esetén automatikus visszatérés stb.). A szerző célja bemutatni, hogy a csúszóhorizontú modell prediktív irányítás hogyan integrálja a hagyományos optimális irányítási rendszerek elméletét és gyakorlatát, valamint gyakorlati példával alátámasztani, hogy a MPC irányítás jól alkalmazható az UAV-k térbeli mozgásának irányítására is.

### SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE

A modell prediktív irányítás az ipari folyamatok szabályozása területén széles körben elterjedt [2][3]. Az MPC irányítások matematikai, és irányításméleti alapjaival az [1][2][3][4] irodalmak foglalkoznak behatóan, és az elméleti megfontolások mellett számos alkalmazást is bemutatnak.

Az UAV-k repülésszabályozó rendszereinek LQR alapú tervezésével az [5] irodalom foglalkozik részletesen, míg a [8] irodalom az UAV fedélzeti energia-, és a szabályozó rendszerek redundáns,

fokozott megbízhatóságú tervezését mutatja be. A [6] irodalom az UAV-k MPC alapú irányítását tárgyalja. A csúszó véges horizontú MPC irányítások elméletét a [10] irodalom foglalja össze.

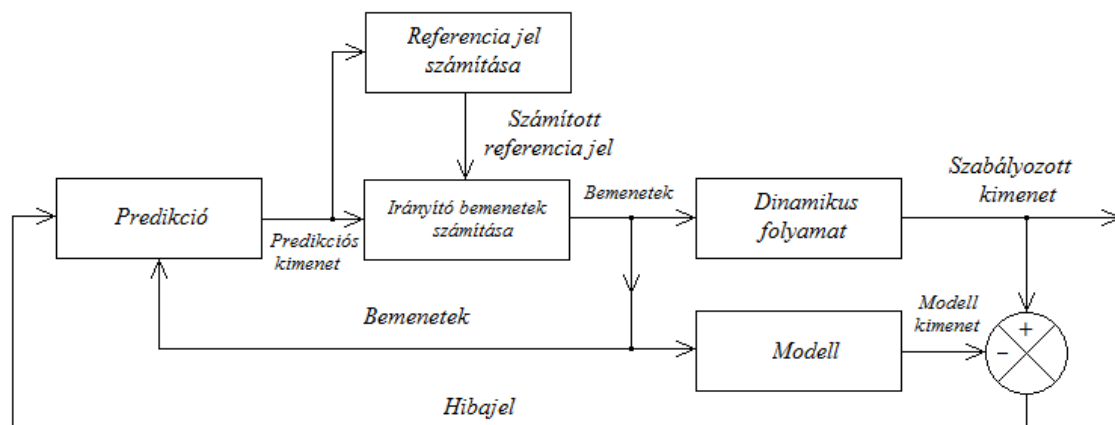
Az UAV térbeli mozgásának matematikai modelljeit a [7][11][12] irodalmak mutatják be részletesen. A cikkben bemutatott tervezési feladat megoldása során a [9] irodalomban közölt minőségi jellemzőket alkalmaztam. A számítógépes tervezést, és rendszervizsgálatot MATLAB® környezetben végeztem el [13][14].

## MODELL PREDIKTÍV IRÁNYÍTÁSOK – ELMÉLETI ALAPOK

Az MPC irányítást csúszóhorizontú irányításként is szokás nevezni [1][2][3][4][6][10]. Az MPC irányítás alap gondolatát, és fontosabb jellemzőit Seeborg az alábbiak szerint foglalta össze [4]:

1. a bemeneti irányítás és a becült jövőbeli kimenet korlátainak figyelembevétele;
2. a szabályozások optimális kimeneti jelének korlátozása;
3. a bemeneti jel agresszív megváltozásának megelőzése;
4. a lehető legnagyobb számú állapotváltozó irányítása akár a szenzor, akár a beavatkozó szerv kiesése esetén.

A csúszóhorizontú MPC irányítás elve az 1. ábrán látható:



1. ábra Az MPC irányítás folyamata (saját szerkesztés)

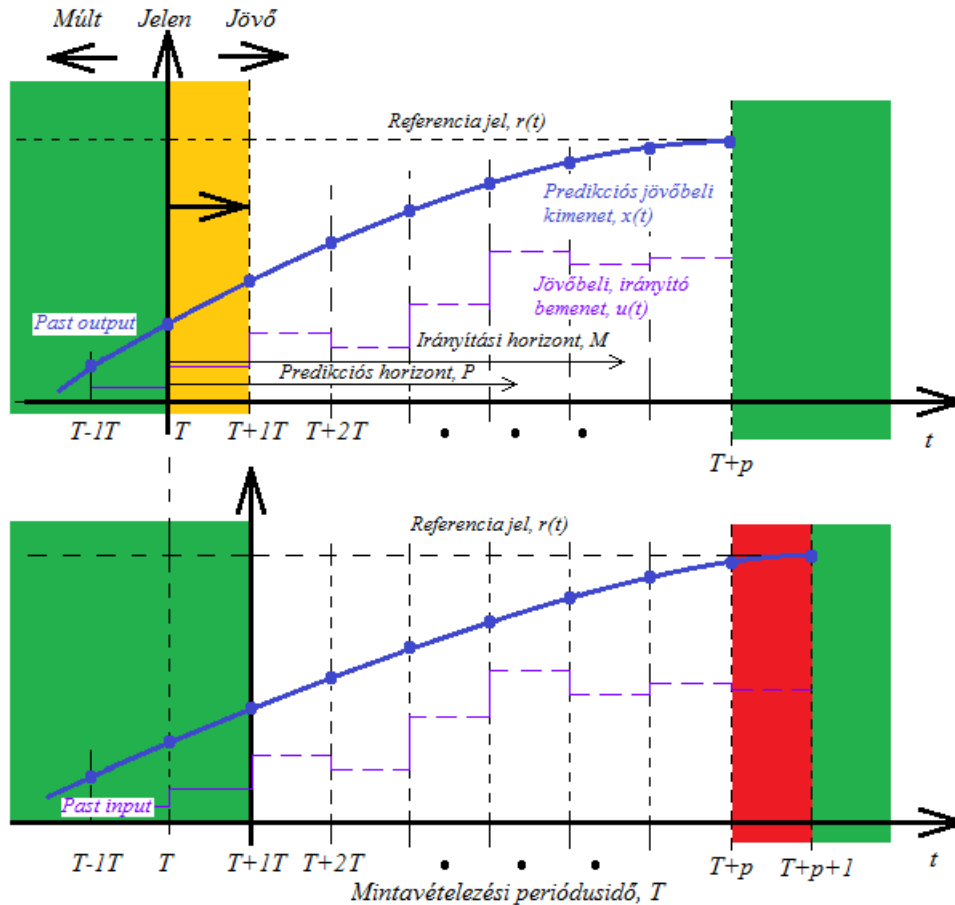
Ugyanazon bemeneti jel kerül úgy a valós fizikai rendszer, mint annak idealizált modellje bemenetére is (1. ábra). A valós rendszer, és annak idealizált modellje kimeneteit összehasonlítjuk: a két rendszer válaszainak esetleges hibajelét használjuk a predikció bemeneteként. Minden egyes mintavételezési időben két számítás is zajlik a rendszerben. Az egyik a becült jövőbeli állapot (set points) számítása, míg a másik az ehhez szükséges irányítás számítása. Mindkét számítás során feltételezzük, hogy a becült kimeneti jellemzőkre az előre meghatározott egyenlőtlenségi feltételek (korlátok: kisebb, mint, ... vagy nagyobb, mint ...) adottak.

A valós fizikai rendszer becült jövőbeli állapotának kiszámítása egy előre megfelelően megválasztott költségfüggvény minimalálásán alapuló optimális kritérium segítségével történik. Az optimális jövőbeli állapotok értéke függ a zajtól, a paraméterek állandóságától, a rendszer bizonytalanságaitól, valamint az egyenlőtlenségi korlátok esetleges változásától is.

Az egyenlőtlenségi korlátok a valós fizikai rendszer környezetének és a rendszer építő elemeinek (pl. érzékelők, jelformálók, beavatkozó szervek, végrehajtó szervek) változása miatt maguk is

változhatnak. Az MPC rendszerekben a jövőbeli állapotot a szükséges irányítás számításának minden egyes időpillanatában újraszámítják. Mindkét, korábban vázolt számítás a jelen állapotban történő mérések és fizikai rendszer becült jövőbeli értéke alapján történik. Az MPC irányítás célja olyan irányítások számítása, amelyek a valós fizikai rendszert az 'optimális' jövőbeli állapothoz közelítik úgy, hogy egy előre megválasztott költségfüggvény minimális értéket vesz fel.

A csúszóhorizontú MPC irányítás alapgondolatát most vizsgáljuk meg a 2. ábrán.



2. ábra Az MPC irányítás folyamata (saját szerkesztés)

Az MPC alapgondolata legkönnyebben a mintavételes, diszkrét idők segítségével magyarázható. A 2. ábrán a jelen pillanatot jelölje  $t=T$ . A valós rendszer jövőbeli értékét a modell válasza alapján becslik a teljes, véges  $T+p$  horizonton, amikor is a rendszer becült kimeneti jele megegyezik annak optimális, elvárt értékével. A zárt irányítási rendszer jövőbeli elvárt értéke  $r(t)$  egy olyan új érték, amelyhez szeretnénk közelíteni a valós fizikai rendszert, más szóval, szeretnénk egyik egyensúlyi állapotból átvinni a másik egyensúlyi állapotba. Az MPC szabályozó minden egyes  $t=T+nT$  mintavételezési időpillanatban elvégzi az  $x(t)$  jövőbeli rendszerkimenet becslését az  $u(t-T)$  előző bemenetek és az  $x(t-T)$  előző kimenetek, valamint a következő  $u(t+T)$  bemenet segítségével úgy, hogy a rendszer becslési hibája az optimális  $x(t)$  pályán minimális értékű legyen.

Az MPC irányítás induljon ki  $t=T$  jelen időből. A  $t=T+1T$  időben úgy a modell rendszer, mint a valós fizikai szabályozó rendszer bemenetére kapcsoljuk a  $t=T$  előző mintavételezési időre számított  $u(t=T)$  bemeneti jelet. A modell rendszer válaszát számítjuk, míg a valós fizikai rendszer válaszát mérjük, és minden egyes mintavételezési időpontban megállapítjuk a rendszer jövőbeli

becsült kimenetének, és a rendszermodell válaszána különbségét. A becslési hiba alapján újabb bemeneti jel becslés történik, amivel irányítjuk a valós rendszer becsült jövőbeli viselkedését a teljes  $T+p$  horizonton, a valós időhöz képest mindig  $T$  idővel előre tartva.

Bár a fent bemutatott és alkalmazott mintavételes rendszermodell nagyon jól használható a szabályozási elvek bemutatására, a gyakorlatban azonban a nagy számítási igény miatt a gyakorlatban inkább orthonormál függvényekre épülő, folytonos idejű modelleket szokás használni [1][2][3][4][6][10].

Az UAV-k repülésszabályozásában is gyakran fordul elő, hogy egyes repülési paraméterek egyik értékét egy másik értékre kell változtatni, más szóval, az UAV-t egyik egyensúlyi állapotából egy másik egyensúlyi állapotba kell átvinni. Ilyen repülési feladat lehet például az UAV-k összeütközését elkerülő manőver, a vízszintes síkban végrehajtott forduló, ha azt a dőlési szög új értékének megfelelő beállításával hajtják végre.

Az MPC irányításokat tervezhetjük úgy egyváltozós (SISO), mint többváltozós (MIMO) dinamikus rendszerekre is. Az irányított dinamikus folyamat nemlineáris állapot-egyenlete legyen adott a következő alakban [1][2][3][4][6][10]:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) \quad (1)$$

A modell kimenetét számítsuk a teljes véges horizonton, amíg  $t=T+p$ . Tervezzünk olyan MPC szabályozást, amely minimalja a következő integrál funkcionált (költségfüggvényt):

$$\mathbf{V}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) = \int_0^p \mathbf{l}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) dt + \mathbf{F}(\mathbf{x}(p)), \quad (2)$$

ahol  $\mathbf{l}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) \geq 0$ ,  $\mathbf{F}(\mathbf{x}(p))$  a  $t=T+p$  időhöz tartozó súly, és  $\mathbf{u}(t)$  a modell és rendszer bemeneti vektora egyidejűleg, amely korlátozott, vagyis  $\mathbf{u}(t) \in \mathbf{U}$ . A (2) költségfüggvény minimalása az alábbi parciális differenciálegyenlet megoldása révén lehetséges:

$$\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{V}^0(\mathbf{x}, t) = \min_{\mathbf{u} \in \mathbf{U}} \mathbf{H}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{V}^0(\mathbf{x}, t)) \quad (3)$$

A (3) egyenletben  $\mathbf{H}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \lambda) = \mathbf{l}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) + \lambda \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u})$  a Hamilton-függvény  $\mathbf{V}(\mathbf{x}, p) = \mathbf{F}(\mathbf{x}(p))$  feltétel mellett, és  $\lambda$  a Lagrange-szorító. A (3) egyenletet szokás Hamilton-Bellman-Jacobi (HBJ) egyenletnek is nevezni, melynek megoldásához néhány peremfeltétel teljesülése is szükséges.

A további vizsgálataink során feltételezzük, hogy a szabályozott rendszer (folyamat) lineáris, ily módon a  $\mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t)$  nemlineáris függvény az alábbi lineáris alakot veszi fel:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}(t)\mathbf{u}(t) \quad (4)$$

Az  $\mathbf{l}$  és az  $\mathbf{F}$  függvények az alábbi kvadratikus lakot veszik fel:

$$\begin{aligned} \mathbf{l}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) &= \mathbf{x}^T(t)\mathbf{Q}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{u}^T(t)\mathbf{R}(t)\mathbf{u}(t) \\ \mathbf{F}(\mathbf{x}(p)) &= \mathbf{x}^T(p)\mathbf{S}(t)\mathbf{x}(p) \end{aligned} \quad (5)$$

Az (5) egyenlet négyzetes, diagonális súlyozó mátrixai az alábbi tulajdonságokkal bírnak:  $\mathbf{Q}(t) \geq 0$ ,  $\mathbf{S}(t) \geq 0$ ,  $\mathbf{R}(t) > 0$ . E feltételek teljesülése esetén Hamilton-Bellman-Jacobi egyenlet a jól ismert Ricatti-féle közönséges differenciálegyenlet alakjára egyszerűsödik. Ismeretes, hogy a HBJ egyenlet megoldható az alábbi Ljapunov-függvény bevezetésével is:

$$\mathbf{V}^0(\mathbf{x}, t) = \mathbf{x}^T(t)\mathbf{P}(t)\mathbf{x}(t), \quad \dot{\mathbf{P}}(t) = -\mathbf{P}^T(t), \quad (6)$$

ahol  $\mathbf{P}(t)$  a Ljapunov (költség) mátrix. A (6) egyenlet segítségével a (3) egyenlet az alábbi alakban is megadható:

$$\left. \begin{aligned} -\dot{\mathbf{P}}(t) &= \mathbf{P}(t)\mathbf{A}(t) + \mathbf{A}^T(t)\mathbf{P}(t) + \mathbf{Q}(t) - \mathbf{P}(t)\mathbf{B}(t)\mathbf{R}^{-1}(t)\mathbf{B}^T(t)\mathbf{P}(t) \\ \mathbf{P}(p) &= \mathbf{S} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

A (7) egyenlet megoldása az alábbi  $\mathbf{u}(t)$  irányítási vektort határozza meg:

$$\mathbf{u}(t) = -\mathbf{K}(t)\mathbf{x}(t), \quad (8)$$

ahol  $\mathbf{K}(t)$  az optimális statikus, teljes állapot-visszacsatolás mátrix, melyet az alábbi egyenlet segítségével számíthatunk:

$$\mathbf{K}(t) = \mathbf{R}^{-1}(t)\mathbf{B}^T(t)\mathbf{P}(t), \quad (9)$$

ahol  $\mathbf{P}(t)$  a (7) Ricatti-egyenlet megoldása.

A (7) egyenlet megoldása sokszor meglehetősen nehézkes, ezért, törekedve az egyszerűbb megoldásokra, az MPC irányítások tervezésekor gyakran alkalmaznak orthonormál függvényeket: a becült  $\mathbf{x}(t)$  jövőbeli rendszerkimenetet analitikus alakban keressük, míg a becült optimális irányítási pályát előre megfelelően megválasztott orthonormál függvények segítségével számítjuk. Ez a módszer alapvetően folytonos működésű rendszerek MPC tervezését teszi lehetővé, de a módszer kiterjeszhető diszkrét, mintavételes rendszerekre is [1][2][3][4][6][10]. A [4] irodalom Laguerre-féle orthonormál függvényeket mutat be, és használ fel az MPC irányítási feladat megoldására. A módszer alapgondolata, hogy az  $\mathbf{u}(t)$  optimális irányítások számítása visszavezethető a Laguerre-együtthetők számítására. A módszer csökkenti a számítások során szükséges paraméterek számát, és gyorsítja a feladat megoldását, ami főleg valós idejű számítások során fontos és lényeges tulajdonság.

Ismeretes, hogy egy tetszőleges  $f(t)$  időfüggvény sorba fejthető:

$$f(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \xi_i l_i(t), \quad i=1,2,3 \dots, \quad (10)$$

ahol  $\xi_i$  az orthonormál függvény együtthatói, és az  $l_i(t)$  orthonormál függvények eleget tesznek az alábbi feltételeknek:

$$\int_0^{\infty} l_i^2(t) dt = 1; \quad \int_0^{\infty} l_i(t) l_j(t) dt = 0; \quad \forall i \neq j \quad (11)$$

Feltételezzük továbbá, hogy az  $f(t)$  függvény szakaszonként folytonos, és eleget tesz az alábbi feltételnek:

$$\int_0^{\infty} (f(t) - \sum_{i=1}^k \xi_i l_i(t))^2 dt < \varepsilon, \quad (12)$$

más szóval, a  $\sum_{i=1}^N \xi_i l_i(t)$  kifejezést használjuk a tetszőleges  $f(t)$  függvény közelítésére, ahol  $\varepsilon$  az approximáció hibája.

A gyakorlatban meglehetősen széles körben használják azokat az  $l_i(t)$  Laguerre-függvényeket, melyek Laplace-transzformáltja egyszerű alakkal rendelkezik, mint például:

$$\int_0^{\infty} l_i(t) e^{-st} dt = \sqrt{2p} \frac{(s-p)^{i-1}}{(s+p)^i} \quad (13)$$

A (13) egyenletben a  $p > 0$  együttható. A (13) egyenlet alapján meghatározható olyan differenciálegyenlet, amely eleget tesz a Laguerre-függvényekkel szemben támasztott követelményeknek:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{L}(t) &= [l_1(t) \quad l_2(t) \quad \dots \quad l_N(t)]^T \\ \mathbf{L}(0) &= \sqrt{2p} [1 \quad 1 \quad \dots \quad 1]^T \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

A (14) Laguerre-függvények alapján az alábbi differenciálegyenlet írható fel:

$$\dot{\mathbf{L}}(t) = \mathbf{A}_p \mathbf{L}(t), \text{ ahol } \mathbf{A}_p = \begin{bmatrix} -p & 0 & \dots & 0 \\ -2p & -p & \dots & 0 \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ -2p & \dots & -2p & -p \end{bmatrix} \quad (15)$$

A (15) egyenlet megoldásai az  $\mathbf{L}(t)$  Laguerre-függvények, amelyeket az alábbi mátrix exponenciális alakban számíthatunk ki:

$$\mathbf{L}(t) = e^{\mathbf{A}_p t} \mathbf{L}(0) \quad (16)$$

Könnyű belátni, hogy a zárt LTI irányítási rendszerek MPC alapú irányítása során a tranziens folyamat minden egyes periódusa alatt az  $\mathbf{x}(t)$  becült optimális kimenet eléréséhez szükséges jövőbeli számított  $\mathbf{u}(t)$  optimális irányítás egy adott állandó értékhez konvergál majd, vagyis, minden egyes  $T_i \leq t \leq T_i + p$  diszkrét periódusban (mintavételezési ablakban) igaz, hogy  $\dot{\mathbf{u}}(t) = 0$ . Mindezek alapján teljesül, hogy:

$$\int_{T_i}^{T_i+p} \dot{\mathbf{u}}^2(t) dt < \infty \quad (17)$$

Az MPC irányítás jövőbeli számított  $\mathbf{u}(t)$  optimális irányítása első, idő szerinti deriváltja Laguerre-függvények segítségével az alábbi alakban írható fel:

$$\dot{\mathbf{u}}(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \xi_i l_i(t) = \mathbf{L}^T(t) \boldsymbol{\eta} \quad (18)$$

A (18) egyenletben  $\boldsymbol{\eta} = [\xi_1 \quad \xi_2 \quad \dots \quad \xi_N]^T$  a Laguerre-együtthatók oszlopvektora. A továbbiakban feltételezzük, hogy az irányított rendszer MIMO típusú: a becült jövőbeli  $\mathbf{x}(t)$  optimális kimeneti vektor  $q$ -dimenziós oszlopvektor, míg az optimális kimenet eléréséhez szükséges jövőbeli számított  $\mathbf{u}(t)$  optimális irányítás  $r$ -dimenziós oszlopvektor.

Az UAVk, ahogyan más légitárművek is, valós fizikai környezetben hajtják végre a repülést, ahol  $\mathbf{w}(t)$  külső zajok hatnak rá, mint például a légköri turbulencia, a levegő hőmérséklet változása, a levegő sűrűségének megváltozása, a környezeti statikus légnyomás megváltozása. A mért repülési jellemzők mérési folyamatában számolni kell az  $\mathbf{n}(t)$  mérési zajokkal is.

A továbbiakban feltételezzük, hogy a külső  $\mathbf{w}(t)$  zavarások és a  $\mathbf{n}(t)$  mérési zajok nem korreláltak, zérus várható középértékű fehér zajok, vagyis:

$$\left. \begin{aligned} E \left\{ \frac{d\mathbf{w}(t)}{dt} \right\} &= 0; \quad E \left\{ \frac{d\mathbf{n}(t)}{dt} \right\} = 0 \\ E \left\{ \frac{d\mathbf{w}(t)}{dt} \frac{d\mathbf{w}^T(\tau)}{d\tau} \right\} &= W_w \delta(t - \tau); \quad E \left\{ \frac{d\mathbf{n}(t)}{dt} \frac{d\mathbf{n}^T(\tau)}{d\tau} \right\} = R_n \delta(t - \tau) \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

ahol  $E\{ \quad \}$  a várható érték operátor,  $\delta(\quad)$  a Dirac-függvény;  $W_w$  és  $R_n$  rendre a külső zavarások és a belső zajok intenzitásai.

Ismeretes, hogy a MIMO LTI rendszer állapot- és kimeneti egyenlete az alábbi alakban is felírható [7][11]:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \mathbf{w}(t) \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t) + \mathbf{n}(t) \end{cases} \quad (20)$$

Vezessünk be egy új  $\mathbf{z}(t) = \dot{\mathbf{x}}(t)$  állapot-változót, amelynek deriváltja – felhasználva a (20) egyenletrendszer első egyenletét – a következő lesz:

$$\dot{\mathbf{z}}(t) = \ddot{\mathbf{x}}(t) = \frac{d}{dt}\{\mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \mathbf{w}(t)\} \quad (21)$$

A (20) és a (21) egyenletrendszerek az alábbi módosított alakban írhatók fel:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{z}}(t) = \ddot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}_a\mathbf{X}(t) + \mathbf{B}_a\dot{\mathbf{u}}(t) + \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{w}}(t) \\ \dot{\mathbf{n}}(t) \end{bmatrix} \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{C}_a\mathbf{X}(t) \end{cases} \quad (22)$$

ahol:

$$\mathbf{X}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{z}(t) \\ \mathbf{y}(t) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{A}_a = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{0} \\ \mathbf{C} & \mathbf{0} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B}_a = \begin{bmatrix} \mathbf{B} \\ \mathbf{D} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{C}_a = [\mathbf{0} \quad \mathbf{I}] \quad (23)$$

A (23) egyenletben  $\mathbf{I}$  egy  $q \times q$  méretű identitásmátrix. A (22) egyenletrendszer alapján könnyű belátni, hogy a rendszer irányítása most  $\dot{\mathbf{u}}(t)$ , míg a  $\mathbf{y}(t)$  rendszer irányított kimenete pedig ugyanaz marad, mint volt a (20) eredeti rendszerdinamikában. A sztochasztikus külső és belső zavarások és zajok tulajdonságai miatt azoknak az MPC irányításra gyakorolt hatását elhanyagoljuk.

Feltételezzük, hogy a módosított rendszer bármely  $t = T_i$  mintavételezési időpillanatában a módosított rendszer  $\mathbf{X}(T_i)$  állapotvektora rendelkezésünkre áll. Tetszőleges jövőbeli  $t = T_i + T$  mintavételezési (predikciós) időre a módosított állapotvektor  $\mathbf{X}(T_i + T)$  – zavarásmentes esetet feltételezve – az alábbi alakban írható fel:

$$\begin{aligned} \mathbf{X}(T_i + T) &= e^{AT_i}\mathbf{X}(T_i) + \int_{T_i}^{T_i+T} e^{A(T_i+T-\beta)} \mathbf{B}\dot{\mathbf{u}}(\beta)d\beta = \\ &= e^{AT_i}\mathbf{X}(T_i) + \int_0^T e^{A(T_i-\gamma)} \mathbf{B}\dot{\mathbf{u}}(T_i + \gamma)d\gamma \end{aligned} \quad (24)$$

A becsült optimális irányítás  $\dot{\mathbf{u}}(t)$  deriváltja az alábbi oszlopvektor alakban is felírható:

$$\dot{\mathbf{u}}(t) = [\dot{u}_1(t) \quad \dot{u}_2(t) \quad \dots \quad \dot{u}_r(t)]^T \quad (25)$$

A (20) egyenlettel megadott MIMO MPC irányítás bemeneti mátrixa felírható a következő sorvektor alakban:

$$\mathbf{B} = [B_1 \quad B_2 \quad \dots \quad B_r] \quad (26)$$

A (25) irányítási vektor rendezői az alábbi egyenlettel határozhatók meg:

$$\dot{u}_i(t) \cong \mathbf{L}_i^T(t)\boldsymbol{\eta}_i, \quad (27)$$

ahol:  $\mathbf{L}_i^T(t) = [l_1^i(t) \quad l_2^i(t) \quad \dots \quad l_{N_i}^i(t)]$ ;  $\boldsymbol{\eta}_i^T(t) = [\eta_1^i(t) \quad \eta_2^i(t) \quad \dots \quad \eta_{N_i}^i(t)]$ , és  $N_i$  előre megfelelően megválasztott érték. A módosított állapotvektor  $\mathbf{X}(T_i + T)$  becsült jövőbeli értékre a  $t = T_i + T$  mintavételezési (predikciós) időben most a következő alakban adható meg:

$$\mathbf{X}(T_i + T) = e^{AT_i}\mathbf{X}(T_i) + \int_0^T e^{A(T_i-\gamma)} [B_1 L_1^T(\gamma) \quad B_2 L_2^T(\gamma) \quad \dots \quad B_r L_r^T(\gamma)] \boldsymbol{\eta} d\gamma, \quad (28)$$

ahol az  $\boldsymbol{\eta}^T = [\eta_1 \quad \eta_2 \quad \dots \quad \eta_r]$  együttható oszlopvektor dimenziója  $\sum_{i=1}^r N_i$ . Az  $\mathbf{y}(T_i + T)$  becsült kimeneti (mért) vektor felírható a következő módon is:

$$\mathbf{y}(T_i + T) = \mathbf{C}\mathbf{X}(T_i + T) \quad (29)$$

A (28) egyenletet konvolúciós módszerrel oldhatjuk meg, amely  $(n + q) \times \sum_{i=1}^r N_i$  számú integrálegyenlet megoldását jelenti, ami rendkívül nagy számítási igényt jelent a gyakorlatban, ezért sokszor numerikusan oldják meg az egyenleteket. A  $i$ -edik bemenetnek megfelelő válaszokat a konvolúciós intergál alábbi analitikus megoldása:

$$\mathbf{I}_{int}(T_i)^i = \int_0^{T_i} e^{A(T_i-\gamma)} \mathbf{B}_i \mathbf{L}_i^T(\gamma) d\gamma \quad (30)$$

A (30) egyenletben  $\mathbf{I}_{int}(T_i)^i$  egy  $(n + q) \times N_i$  dimenziójú mátrix. A (30) egyenlet (28) egyenletbe történő behelyettesítése azt mutatja, hogy  $1 \leq i \leq r$  esetén az  $\mathbf{y}(T_i + T)$  becült kimeneti (mért) vektor kifejezhető a (30) alakban. Az  $\mathbf{I}_{int}(T_i)^i$  mátrix alakja most:

$$\mathbf{A}\mathbf{I}_{int}(T_i) - \mathbf{I}_{int}(T_i)\mathbf{A}_p^T = -\mathbf{B}\mathbf{L}^T(T_i) + e^{A T_i} \mathbf{B}\mathbf{L}^T(0) \quad (31)$$

Az  $\mathbf{I}_{int}(T_i)^i$  mátrix ismeretében  $i = 1, 2, 3, \dots, r$  esetén az optimális pálya  $\mathbf{X}(T_i + T)$ , valamint az  $\mathbf{y}(T_i + T)$  becült jövőbeli értéke már könnyen meghatározható.

A MPC irányítások tervezésekor rendszeroptimalizációs céllal integrálkritériumot (költségfüggvényt) használunk. A továbbiakban feltételezzük, hogy a teljes  $0 \leq T_i \leq T + p$  predikciós horizonton az optimális pálya az  $\mathbf{r}(T_i + T) = [r_1(T_i + T) \quad r_2(T_i + T) \quad \dots \quad r_q(T_i + T)]$  vektorral megadott. Az MPC irányítás alap gondolata: keressük azt az  $\mathbf{u}(t)$  optimális becült jövőbeli irányítást, amely a becült jövőbeli  $\mathbf{x}(T_i + T)$  rendszerkimenetet a legkisebb négyzetes értelemben a lehető legközelebb viszi az  $\mathbf{r}(T_i + T)$  becült jövőbeli optimális pályához, más szóval, az optimális  $\mathbf{u}(t)$  hatására az  $\mathbf{e}(T_i + T) = \mathbf{r}(T_i + T) - \mathbf{x}(T_i + T)$  hibajel legkisebb négyzetes értelemben minimális lesz. A  $\mathbf{u}(t)$  optimális irányítás minimálja az alábbi integrálkritériumot:

$$J = \int_0^{T+p} \{[\mathbf{r}(T_i + T) - \mathbf{y}(T_i + T)]^T \mathbf{Q}[\mathbf{r}(T_i + T) - \mathbf{y}(T_i + T)] + \dot{\mathbf{u}}^T(T) \mathbf{R} \dot{\mathbf{u}}(T)\} \rightarrow \text{Min} \quad (32)$$

A (32) egyenletben  $\mathbf{Q} \geq 0$  PSD és  $\mathbf{R} > 0$  PD négyzetes, diagonális súlyozó mátrixok, melyek elemeit a Bryson-szabályt felhasználva, esetleg az egységnyi azonos súlyozás elvét, vagy pedig a heurisztikus súlyozás módszerét alkalmazva állítjuk be. A [1][2][3][4][6][10] irodalmak szerint az MPC minőség alapvetően függ  $p$  értékétől (Laguerre-függvények pólusai), és  $N$ -től, más szóval, az orthonormál függvények számától, más szóval, a (32) integrálkritérium megfelelő súlyozó mátrixait nem feltétlenül szükséges megtalálnunk.

Ismeretes, hogy a (32) integrálkritérium az  $\mathbf{y}(T_i + T)$  helyett támaszkodhat  $\eta$ -ra is. Feltételezzük, hogy az UAV optimális  $\mathbf{r}(t)$  trajektóriája nem változik a teljes  $T + p$  predikciós horizonton (2. ábra), a minimálandó (32) költségfüggvény az alábbi alakra hozható:

$$J = \boldsymbol{\eta}^T \boldsymbol{\Pi} \boldsymbol{\eta} - 2\boldsymbol{\eta}^T \{\boldsymbol{\Psi}_1 \mathbf{r}(T) - \boldsymbol{\Psi}_2 \mathbf{X}(T)\} + \int_0^{T+p} \mathbf{w}^T(T_i + T) \mathbf{Q} \mathbf{w}(T_i + T) dT \rightarrow \text{Min}, \quad (33)$$

ahol:

$$\boldsymbol{\Pi} = \int_0^{T+p} \boldsymbol{\phi}(T_i) \mathbf{Q} \boldsymbol{\phi}^T(T_i) dT + \bar{\mathbf{R}}, \quad (34)$$

$$\boldsymbol{\Psi}_1 = \int_0^{T+p} \boldsymbol{\phi}(T_i) \mathbf{Q} dT, \quad (35)$$

$$\boldsymbol{\Psi}_2 = \int_0^{T+p} \boldsymbol{\phi}(T_i) \mathbf{Q} \mathbf{C} e^{A T} dT, \quad (36)$$



$$\bar{\mathbf{R}} = \text{diag}(\lambda_i \cdot \mathbf{I}_{N_i \times N_i}), \quad (37)$$

ahol  $\lambda_i$  a módosított rendszer  $\mathbf{A}$  állapot-mátrixának sajátértékei, és  $\mathbf{I}_{N_i \times N_i}$  egy  $N_i \times N_i$  dimeziójú identitásmátrixot jelöl.

A (33) költségfüggvény minimum – a korlátozások teljes hiánya mellett – a legkisebb négyzetes módszer segítségével számítható, vagyis:

$$\boldsymbol{\eta} = \Pi^{-1}\{\boldsymbol{\Psi}_1 \mathbf{r}(T) - \boldsymbol{\Psi}_2 \mathbf{X}(T)\}, \quad (38)$$

míg az irányító vektor becslt jövőbeli vektorának deriváltja

$$\dot{\mathbf{u}}(T) = \begin{bmatrix} L_1^T(0) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & L_2^T(0) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & L_r^T(0) \end{bmatrix} \Pi^{-1}\{\boldsymbol{\Psi}_1 \mathbf{r}(T) - \boldsymbol{\Psi}_2 \mathbf{X}(T)\} \quad (39)$$

lesz. Az  $\mathbf{u}(t)$  becslt optimális jövőbeli irányítást a (39) egyenlet integrálásával kapjuk, vagyis:

$$\mathbf{u}(t) = \int_0^t \dot{\mathbf{u}}(T) dT \quad (40)$$

A folytonos MPC irányítás stabilitását a (34) végállapotú súly megfelelő megválasztása biztosítja. Az MPC irányítás tervezésekor bevezetett négyzetes integrálkritériumban szereplő  $\mathbf{x}(t)$ ,  $\dot{\mathbf{u}}(T)$ , és az  $\mathbf{u}(t)$  változók lehetnek korlátosak is, legyen például:

$$\dot{\mathbf{u}}_{min}(T_i + T) \leq \begin{bmatrix} L_1^T(T_i) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & L_2^T(T_i) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & L_r^T(T_i) \end{bmatrix} \boldsymbol{\eta} \leq \dot{\mathbf{u}}_{max}(T_i + T) \quad (41)$$

A (41) egyenlet egy lineáris egyenlőtlenségi egyenletrendszert határoz meg, ahol  $T_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$  azokat a diszkrét időpontokat jelöli, amelyeken az  $\dot{\mathbf{u}}(T)$  deriváltat számítjuk. Mivel  $L_k(T)$ ;  $k = 1, 2, 3, \dots, r$  exponenciális függvényeket jelöl, amelyek biztosítják az  $\dot{\mathbf{u}}(T_i + T)$  derivált vektor exponenciális lecsillapodását, ezért elegendő az MPC irányítás tervezésének kezdetén a teljes  $T + p$  predikciós horizontra korlátokat bevezetni. Az  $\mathbf{u}(T_i + T)$  optimális becslt irányító jelre adjuk meg a következő korlátot:

$$\mathbf{u}_{min}(T_i + T) \leq \begin{bmatrix} \int_0^{T_i} L_1^T(\gamma) d\gamma & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \int_0^{T_i} L_2^T(\gamma) d\gamma & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \int_0^{T_i} L_r^T(\gamma) d\gamma \end{bmatrix} \boldsymbol{\eta} + \mathbf{u}(T_i - T) \leq \mathbf{u}_{max}(T_i + T), \quad (42)$$

ahol  $\mathbf{u}(T_i - T)$  az előző predikciós időpontban adja meg az optimális irányítást.

Számítógépes szimulációk tapasztalatai alapján, amelyeket előre kiválasztott  $p$  és  $N$  értékekre hajtottak végre, a (42) egyenlet főátlóján álló véges horizontú integrálok az alábbi alakban írhatók fel:

$$\int_0^{T_i} L_k(\gamma) d\gamma = [\mathbf{A}_p^{-1}(e^{\mathbf{A}_p T_i} - \mathbf{I})\mathbf{L}(0)]^T, \quad (43)$$

ahol  $\mathbf{A}_p$  a (15) egyenletben megadottak szerint számítható.

Megadott  $T_i$  predikciós időpontokra a (42) egyenlet egy lineáris, egyenlőtlenségi korlátozásokból álló egyenletrendszer határoz meg:

$$\mathbf{u}_{min}(T_i + T) \leq e^{A_p T_i} + [\mathbf{I}_{int}^1(T_i) \quad \mathbf{I}_{int}^2(T_i) \quad \dots \quad \mathbf{I}_{int}^r(T_i)]\boldsymbol{\eta} \leq \mathbf{u}_{max}(T_i + T), \quad (44)$$

és így az MPC irányítás  $\mathbf{x}(T_i)$  becslt kimenete a következő összefüggés alapján számítható:

$$\mathbf{x}_{min}(T_i + T) \leq e^{A_p T_i} + [\mathbf{I}_{int}^1(T_i) \quad \mathbf{I}_{int}^2(T_i) \quad \dots \quad \mathbf{I}_{int}^r(T_i)]\boldsymbol{\eta} \leq \mathbf{x}_{max}(T_i + T) \quad (45)$$

A bemutatott eljárás feltételezi, hogy bármely  $t = T_i$  mintavételezési időpillanatban az egyes állapotváltozók mérhetőek és ismertek. Sok esetben azonban nem tudjuk, vagy egyszerűen csak nem célszerű az MPC irányítás összes állapotváltozóját mérni, ezért az egyes  $\mathbf{x}(T_i)$  változókat becsléssel célszerű megállapítani. A folytonos MPC irányítás egyenlete az egyes változók becslt értékeire most a következő alakban adhat meg:

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}}(t) = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \mathbf{J}_{obs}[\mathbf{y}(t) - \mathbf{C}\hat{\mathbf{x}}(t)] \quad (46)$$

A (46) egyenletben  $\hat{\mathbf{x}}(t)$  az  $\mathbf{x}(t)$  becslt kimeneti jel becslése, és  $\mathbf{J}_{obs}$  a becslő offline, rekurzív számított erősítési mátrixa. Más szóval, ebben az esetben nem szükséges a Ricatti-féle mátrix-egyenlet megoldására.

A becslt irányító bemenet  $\mathbf{u}(t)$  deriváltját az MPC optimális stratégia megoldása adja, míg a becslőt a Kalman-féle LQE feladat megoldása adja. Feltételeve, hogy az UAV térbeli mozgását leíró állapotterezes modell  $(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D})$  mátrixai egy teljesen irányítható, és teljesen megfigyelhető dinamikus rendszert határoznak meg  $(\mathbf{A}, \mathbf{B})$ , és  $(\mathbf{A}, \mathbf{C})$  mátrixpáronként, az  $\mathbf{J}_{obs}$  mátrix az optimális becslő (LQE) tervezési módszere segítségével megtervezhető úgy, hogy a becslés  $\mathbf{e}(t) = \mathbf{x}(t) - \hat{\mathbf{x}}(t)$  hibajele állandósult állapotban exponenciális függvény szerint aszimptotikusan lecsillapodjon, és  $t \rightarrow \infty$  esetén az értéke minimális (zérus) legyen [1][2][3][4][6][10].

## KISMÉRETŰ UAV MPC ALAPÚ IRÁNYÍTÁSA

A [11][12] irodalmakban is bemutatott, és használt UAV modellt felhasználva tervezzünk olyan MPC szabályozót, amely képes az UAVt egy előre megadott új repülési üzemmódba (új helyzetbe, új repülési pályára) átvinni oly módon, hogy a predikciós hiba minimális értéket vegyen fel.

Ismeretes, hogy a Trainer-60 'Boomerang' SUAV oldalirányú mozgásának modellje a egyenletek alapján a következő alakban írható fel [11][12]:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} = \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{p} \\ \dot{r} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,7724 & 0 & -18,9671 & 9,0867 \\ 1,9247 & -19,9149 & 7,7565 & 0 \\ 69,1314 & -23,8689 & -2,5966 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ p \\ r \\ \phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 2,2582 \\ -23,8289 & 1,5015 \\ -11,7532 & -15,2855 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_a \\ \delta_r \end{bmatrix} \quad (47)$$

A (47) állapotegyenlet alapján a kisméretű UAV oldalirányú, rövidperiodikus mozgásának dinamikus modellje a következő alakban írható fel [11][12]:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu} = \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -19,9149 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ \phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -23,8289 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_a \quad (48)$$

A (48) egyenlet ideális, zavarásmentes repülési állapotot ír le. Könnyű belátni, hogy számos valós repülési helyzetben azonban nem kerülhetjük meg a külső környezet (pl. légköri turbulencia) modellezését, és a tervezések során azok figyelembe vételét. Ebben az esetben a (48) egyenlet a következő alakot veszi majd fel:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu} = \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -19,9149 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ \phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -23,8289 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_a + Y_d d \quad (49)$$

Feltételezzük, hogy a (49) egyenletben a külső zavarás az alábbi tagon át befolyásolja a rendszer kimeneti (szabályozott) jellemzőjét:

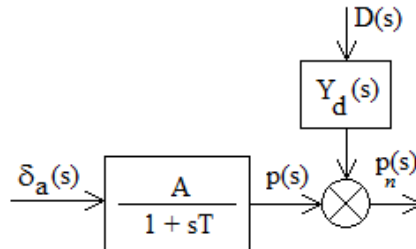
$$Y_d(s) = \frac{0,1}{0,01s+1} \quad (50)$$

Az (50) átviteli függvény arányos-, egytárolós tagot ír le, és alul-áteresztő szűrőként, kis-, és közepes frekvenciatartományon is csillapítja a ‘bemenet’ (külső zavarás) amplitúdóját, míg nagyfrekvenciás tartományban a csillapítás egyre inkább kiteljesedik, egyre inkább ‘kiszűri’ a külső zavarást.

A (49) egyenlet Laplace-transzformáltja – zérus kezdeti feltételek mellett – a következő alakban írható fel:

$$p_n(s) = \frac{A}{1+sT} \delta_a(s) + Y_d(s)D(s) = \frac{1,1965}{0,0502s+1} \delta_a(s) + \frac{0,1}{0,1s+1} D(s) \quad (51)$$

Az (51) egyenlet alapján, az UAV nyílt hatásláncú viselkedését a 3. ábra adja meg.



3. ábra Kisméretű UAV oldalirányú, rövidperiodikus mozgásának nyílt hatásláncú irányítása (saját szerkesztés)

Feltételezzük, hogy az UAV összeütközés elkerülő manőver közben irányyszög változtatást kell végrehajtson. Könnyű belátni, hogy ilyen repülési helyzetben az UAV-val szemben támasztott alapvető követelmény, hogy képes legyen a dőlési szögét minél gyorsabban megváltoztatni.

Legyen az UAV orsózó mozgását irányító zárt szabályozás bemenete a következő követendő pályamodel:

$$p_m(t) = 5 * 1(t) \text{ °/s} \quad (52)$$

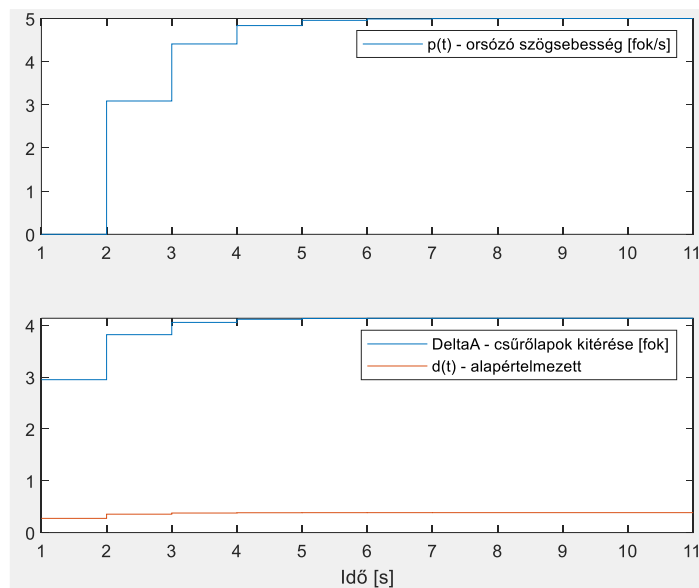
A 3. ábrán látható SUAV nyílt hatásláncú irányítási rendszer számára tervezzünk MPC szabályozót, amely biztosítja, hogy az UAV zárt szabályozási rendszere eleget tesz a [9] irodalomban bemutatott irányítástechnikai minőségi jellemzőknek.

Az MPC szabályozó tervezése során az alábbi paramétereket választottam [13][14]:

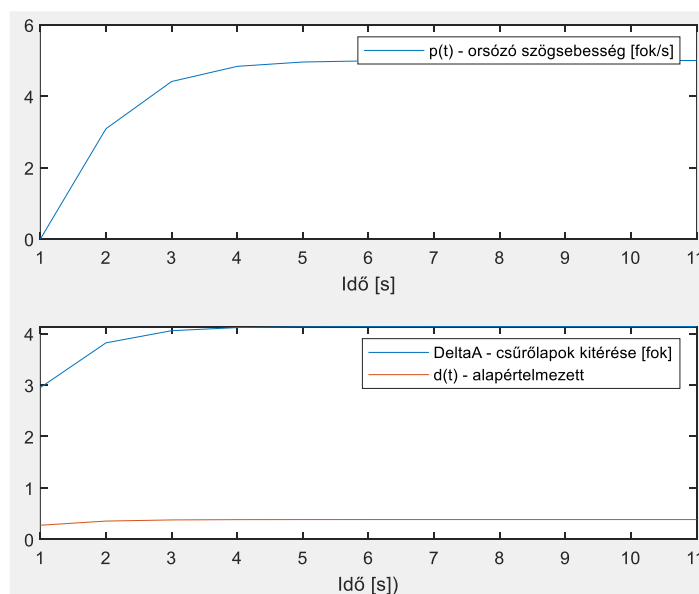
1. A dőlési szögsebesség referencia értéke: 5 °/s;
2. Mintavételezési idő:  $\Delta t = 0,1 \text{ s}$ ;

3. Tranziens idő:  $t_s = 6$  s;
4. Modell horizont,  $N$ :  $N\Delta t = t_s$ ;  $N = 60$ ;
5. Irányítási horizont,  $M$ :  $M = 5$ ;
6. Predikciós horizont,  $P$ :  $P = 50$ ;
7. Súlyozó mátrix:  $\mathbf{Q} = 1$ ;
8. Súlyozó mátrix:  $\mathbf{R} = [1 \ 1]$ .

Az (52) követendő referencia jel, és a fent közölt tervezési beállítások (M, P, Q, R) segítségével a MATLAB® Predictive Control Toolbox cmpc.m beépített segédfüggvénye segítségével elvégeztem az MPC szabályozó tervezését. Az UAV orsózó mozgását irányító zárt szabályozó rendszer időtartománybeli viselkedését a 4. (lépcsős nyomtatási opció), és az 5. ábra (alapértelmezett nyomtatási opció) mutatja be [13][14].



4. ábra Kisméretű UAV oldalirányú, rövidperiodikus mozgásának nyílt hatásláncú irányítása (MATLAB-script: Szabolcsi R.)



5. ábra Kisméretű UAV oldalirányú, rövidperiodikus mozgásának nyílt hatásláncú irányítása (MATLAB-script: Szabolcsi R.)

A 4., és az 5. ábrán is jól látható, hogy az UAV MPC zárt irányítási rendszer stabilis viselkedésű, és a megadott tranziens idő alatt eléri a modell (referencia) orsózó szögsebesség értéket, eleget téve a [9] irodalomban bemutatott minőségi követelményeknek.

Az UAV zárt szabályozási rendszere minőségi jellemzőinek hangolása az  $M$ , a  $P$ , a  $Q$  és az  $R$  paraméterek megfelelő megválasztásával lehetséges. A súlyozás  $Q$  és  $R$  mátrixainak beállítása során, ha az egyes állapotváltozókról, illetve a bemeneti jellemzőkről *a priori* adatok állnak rendelkezésre, akkor a Bryson-szabály jól használható a mátrixok első beállítására. Ha ilyen adatokkal nem rendelkezünk, akkor az egységnyi súlyozás elvét, majd ezt követően a heurisztikus hangolási módszert alkalmazzuk.

Megemlíteni szükséges, ha az  $M$  irányítási horizont értékét növeljük, akkor egyre növekszik az UAV zárt szabályozási rendszerének lengési hajlama, és egyre inkább növekszik a számítási igény is, ami valós idejű rendszerekben sokszor nem megengedhető értéket vehet fel, tehát célszerű az ökölszabályként javasolt  $5 \leq M \leq 20$  értéktartomány kisebb értékeit felvenni.

## ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK

A szabályozási rendszerek előzetes, számítógépes tervezése a mérnöki-, tervezői gyakorlatban, széles körben alkalmazott, mert lényeges mértékben lerövidíti a projektek futamidejét, javítja úgy a tervezés hatékonyságát, mint a költséghatékonyságot.

A modell-alapú, előzetes tervezések során számos tervezési módszer áll rendelkezésünkre, amelyek közül az UAV rendeltetésének leginkább megfelelő tervezési eljárást kell kiválasztanunk. Nem célszerű például egy légi célként használt UAV robotpilótájaként túlságosan szofisztikált rendszert alkalmazni, ha egy egyszerűbb robotpilóta is megfelel az elvárásoknak, hiszen egy sikeres repülés alkalmával az UAVt találat éri majd, és megsemmisül. Ha viszont olyan környezetben szeretnénk működtetni az UAVt, amelyben még a normál repülési üzemmódok végrehajtása is kihívásnak számít, akkor természetesen minden olyan módszert, eljárást, és eszközt alkalmaznunk kell, amelyek biztosítják az UAV repüléseinek előírt szintű repülésbiztonságát.

A szabályozótervezés időigénye 0,006 s (6 ms) volt. Könnyen belátható, hogy a légijárművek, többek között, az UAVk holtideje is, melynek tipikus értéke (0,01–0,1) s, nagyobb, mint a számításokhoz szükséges idő. Más szóval, az aerodinamikai kormányzással bíró légi járművek holtideje alatt a számítógépes szabályozótervezés akár valós időben is végrehajtható. A számítások pontossága  $1,4 \cdot 10^{-14}$  %, ami meglehetősen nagy számítási pontosságot jelent.

A cikkben a szerző egyváltozós UAV modellekre támaszkodott. Magától értetődik, hogy a cikkben bemutatott elméleti megfontolások kiterjeszthetők, és alkalmazhatóak többváltozós (MIMO) dinamikus UAV modellekre is.

Az MPC tervezés során a MATLAB® `cmpc.m` beépített segédfüggvénye lehetővé teszi, hogy alapértelmezett, determinisztikus zavarásokat vegyünk figyelembe, amit a program automatikusan generál. Ha szükséges a külső, vagy a rendszer belső zajainak sztochasztikus viselkedését is figyelembe venni, akkor ezeket, az alapértelmezett zavarástól eltérő véletlen jeleket létre kell hozni, és a `cmpc.m` parancssorban értelemeszerűen hivatkozni szükséges.

Az MPC szabályozó MATLAB® `mpc` .m beépített segédfüggvényére épülő tervezéskor megadhatunk úgy a bemeneti vektor rendezőire, mint a dinamikus modell állapotváltozóira meghatározott korlátozásokat is.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Rawlings, J.B.: Tutorial Overview of the Model Predictive Control. *IEEE Control Systems Magazine*, 20(3), 38 2000. DOI: <https://doi.org/10.1109/37.845037>
- [2] Löfberg, J. (2001): *Linear Model Predictive Control – Stability and Robustness*. Linköping University, Division of Automatic Control.
- [3] Maciejowski, J.M.: *Predictive Control with Constraints*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2002.
- [4] Seeborg, D. E. et al. (2005): *Process Dynamics and Control*. John Wiley & Sons, Inc., 2<sup>nd</sup> Edition.
- [5] Békési Bertold, Szegedi Péter: *Preliminary Design of Controller of Longitudinal Motion of the Unmanned Aerial Vehicle Using LQR Design Method*. Proceedings of the 10th International Conference: Transport Means 2006, Kaunas, Lithuania, pp. 324-327.
- [6] Raemaekers, A.J.M.: *Design of a model predictive controller to control UAVs*. DCT 2007.141, Technical University of Eindhoven, 2007.
- [7] Prof. Dr. Szabolcsi Róbert (szerk.): *Modern automatikus repülésszabályozó rendszerek*. Budapest: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2011. 415 p. ISBN: 978-963-7060-32-8.
- [8] Békési Bertold, Wühl Tibor: *Redundancy for micro UAVs – control and energy system redundancy*. Proc. of the International Conference Deterioration, Dependability, Diagnostics 2012, Brno, Czech Republic, pp. 123-130. (ISBN:978-80-7231-886-5).
- [9] R. Szabolcsi, Lateral/Directional Flying Qualities Applied in UAV Airworthiness Certification Process. *Land Forces Academy Review*, 3/2014:(75) pp 336-346, 2014.
- [10] Dávid László, György Katalin, Kelemen András: Comparisons Between Applied Model Predictive Control, State Dependent Riccati Equation, and Finite Horizon Discrete Optimal Control Algorithms. *V. Műszaki Tudományos Ülésszak, Kolozsvár, 2014. Műszaki Tudományos Közlemények 2.*, pp. 61-74.
- [11] Prof. Dr. Szabolcsi Róbert: *Légi robotok automatikus repülésszabályozása*. Budapest: Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 2016. 478 p. ISBN: 978-615-5460-23-4.
- [12] Prof. Dr. Róbert Szabolcsi: Optimal PID Controller Based Autopilot Design and System Modelling for Small Unmanned Aerial Vehicle. *Review of the Air Force Academy*, No.3 (38)/2018, pp. 43-58. DOI: <https://doi.org/10.19062/1842-9238.2018.16.3.6>
- [13] MATLAB® R2018b, User's Guide, The MathWorks, 2018.
- [14] MATLAB® R2018b Model Predictive Control Toolbox, User's Guide, The MathWorks, 2018.

### MODEL PREDICTIVE CONTROL OF THE SMALL UAV

Recently there are many new UAV applications changing the attitude of the common drone users. There is a drone taxi concept about the tourists' sightseeing activity in urban and habited area, or, a flying motorcycle concept planning to deliver to the police or to the firefighters to enhance their transport capabilities. There is a common trend, and the requirement at the same time, to improve flying capabilities of the UAVs (like flight time, or flight range). The newest UAV applications predict more busy airspace requiring collision avoidance capability of the UAVs both in UAV vs UAV, and in UAV vs non-UAV relationship. The purpose of the author is to prove that model predictive control (MPC) concept may serve very effectively if there is a task to track a pre-defined flight path of the UAV.

**Keywords:** UAV, collision avoidance, model predictive control

---

Prof. Dr. habil. Szabolcsi Róbert (PhD)  
Egyetemi tanár  
Óbudai Egyetem  
Bánki Donát Gépész- és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar  
Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
szabolcsi.robert@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-2494-3746

Dr. Szabolcsi Róbert (PhD)  
Full professor  
Óbuda University,  
Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering  
Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering  
szabolcsi.robert@bgk.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-2494-3746

---



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/228/40>





Tamás Bali

## COMPLEX APPROACH TO THE HELICOPTER PILOT'S OPERATIONAL TRAINING

DOI: 10.32560/rk.2019.1.12

*There are numerous challenges while carrying out rotary wing tasks in the multinational operational environment these days. It is because of the differently used technics, tactics and procedures amongst the participating nations and distinct pilot proficiencies. Operational success requires from all the nations, that their helicopter pilots have adequate operational pilot proficiencies. That kind and level of pilot proficiencies, which provide interoperability. Naturally, NATO standardization agencies cannot ignore this task. They have started the standardization work which is the subject of my study.*

**KEYWORDS:** *helicopter, helicopter pilot, proficiency, training, rotary-wing tasks*

### PREFACE

The NATO Joint Air Power Competence Center (as follows: JAPCC) in Kalkar (Germany), published more than four years ago a document, entitled "Enhancing NATO's Operational Helicopter Capabilities" [1], in which it identified many employment obstacles by analyzing NATO helicopter forces' possibilities and capabilities. These include:

- differently interpreted rotary wing Tactics, Techniques and Procedures (as follows: TTPs) amongst NATO allied nations, which further fosters the disharmony between the European and American forces,
- different pilot proficiency level of aircrews, participating in allied missions,
- low number of helicopters provided by nations for allied operations,
- small number of multinational helicopter trainings and exercises,
- compatibility problems on secure voice and data communication between helicopters and helicopters and supported land force subunits,
- lack of international courses, focusing on the creation of NATO standard operational planner Command and Control (as follows: C2) abilities,
- limited operational experience exchange amongst the allied nations.

Aside of the fact, that the document itself suggested solutions for some of the emerged problems, others still remained unsolved. One of these topics is a required pilot proficiency, which is vital for an efficient and successful allied operational employment. It has been analyzed by NATO Standardization Office's (as follows: NSA) Helicopter Interservice Working Group (as follows: HISWG).

The overall purpose of the work was (and so it is nowadays) to work out a standardized document (accepted by all NATO member nations), which determines the minimum core competencies for aircrews, participating in multinational rotary-wing (as follows: RW) operations.

The HISWG has worked out the „ATP-90 – Minimum Core Competence levels and Proficiency of Skills for Helicopter Crew for NATO Operations” draft document upon the „Standardization of Qualification for NATO Helicopter Crews in Support of Land Operations” [2] titled document published by JAPCC in July 2015. This document further emphasizes the importance of the standardized operational training for RW aircrews to establish capable interoperability.

### HELICOPTER PILOT’S TRAINING AND THEIR PROFICIENCIES

Helicopter pilot’s training – in an ideal situation – constitutes many phases. There must be a phase, which comprises a basic RW pilotage training where any given cadet can learn the basics to control (maneuver) helicopters. This must be followed with a separate basic level operational training phase, where he/she must learn those tactical flying maneuvers which on one hand enables the support of the land forces, on the other hand the self-defense. After getting the basics, specialization comes. Completing this phase, it will allow the individuals to meet the flying requirement concerning their first pilot position.

#### Helicopter pilot training

We can recognize this significant separation amongst the phases even in the JAPCC’s training structure [2]. The so called „**Initial Qualification Training**” (as follows: IQT) provides RW pilots with the basic training necessary to qualify for flying duties of a specific airframe without regard to accomplishing any specific missions. It must be underlined, that the IQT provides individuals only with the basic skills necessary to safely operate a specific aircraft but does not include any tactical mission elements. Upon completion of IQT, the aircrew member gets Basic Aircraft Qualification (as follows: BAQ) status. BAQ is a prerequisite for all follow-on trainings.

IQT is followed by the „**Mission Qualification Training**” (as follows: MQT), which is an advanced pilot training program focusing on the pilotage. The aim of the training phase is to provide adequate level of skills for the given pilots, who are subject to the following operational training phase. At this point Night Vision Googles (as follows: NVGs<sup>1</sup>)-, low-level- and Nap of the Earth (as follows: NOE<sup>2</sup>) flying skills must be emphasized along with the proper self-defense maneuvering with mountainous flight- and Degraded Visual Environment (as follows: DVE)<sup>3</sup> flying skills, etc... As a result of the MQT, the helicopter pilot will receive the so called „Basic Mission Capable” license, which leads directly to the operational training phase.

Upon the completion of MQT, operational training can be started, which is called to be as a „**Continuation Training**” (as follows: CT). During this training phase, all those skills must be

---

<sup>1</sup> NVGs – Night Vision Googles: Two identical monocular optical devices, that amplify existing light by means of an image intensifier and focus it onto a photocathode where it becomes an electronic image which is visible to the eye [10].

<sup>2</sup> NOE – Nap of the Earth: Flight as close to the earth’s surface as vegetation or obstacles will permit, while generally following the contours of the earth [8].

<sup>3</sup> Helicopters can operate in adverse weather conditions but the extent to which they can vary based on the aircraft type and operating nation. Helicopters have restrictions for winds, temperatures, visibility and precipitation. For example, **degraded visual environments** such as fog, rain, dust or snow may prevent or hinder helicopter operations. While low visibility does hinder visual acquisition by the adversary, the helicopter remains vulnerable to radar, laser and thermal-based systems [4].

developed, which are crucial to fly in hostile environment under all circumstances. For this training phase, the given cadets’ future helicopter type must be utilized. For instance: In connection with an urban operation training, the one who is supposed to fly transport helicopter in the future perform insertion and extraction, while the other who will fly attack helicopter execute close combat attack<sup>4</sup>.

By cause of the CT successful completion, the helicopter pilot cadet earns the so called „Mission Capable” rating, which facilitates operational employment to the given pilot. Apart from this, the CT can be utilized to regain operational currencies for the pilots who used to have combat ready qualification.

### Pilot readiness status

The Pilot readiness status refers to the actual pilot’s operational qualification. It determines whether he has achieved the „Mission Capable” qualification on the field of tactical use of his air asset and has live currencies on the area of operational RW deployment. After all, the range of live currencies represents the pilot readiness status.

We must consider the given helicopter pilot to be „**Combat Ready**” (as follows: CR) qualified, if he is capable to carry out all of those combat maneuvers, which are allowed by the helicopter design and capabilities, or if he can make do the best of the onboard equipment and maximize the efficiency of weapon employment. When an CR airman is qualified, he can carry out all combat missions assigned to his unit. CR status is obtained after successfully completion of the IQT as well as the required MQT. CR status is sustained by remaining current in all unit tasks and missions.

The given helicopter pilot must be considered as „**Deployment Combat Ready**” (as follows: DCR) qualified, if he completed IQT and the mission related MQT but qualified only for the mission specific assigned tasks. Apart from this, some of his pilot currencies are not live. For example: If the pilot’s NVG currency is expired, he can only be assigned to day Visual Meteorological Condition<sup>5</sup> (as follows: VMC) flights. Besides, if a helicopter pilot loses his DVE flight currency, he wouldn’t be assigned to any of the desert RW operations.

The helicopter pilot must be considered as „**Limited Combat Ready**” (as follows: LCR), if he completed his IQT and some parts of the MQT. Although, he possesses some live operational currencies, but can be assigned to operational deployment with limitations. It must be noted, that NATO’s Joint Air Power Competence Center (as follows: JAPCC) in its recent document [2] does not recognized LCR trained pilot to be an operational ready one.

The last readiness status category is a „**Not Combat Ready**” (as follows: NCR), which refers to the pilot who is under his pilot training, hasn’t completed his IQT and MQT. Evidently doesn’t have any operational currencies.

---

<sup>4</sup>Close Combat Attack: An attack by helicopters providing air-to-ground fires for friendly units engaged in close combat as part of the combined arms team. Due to the close proximity of friendly forces, detailed integration between air and ground forces is required. Due to the unique capabilities of aircraft and the enhanced situational awareness of the aircrews, final guidance from ground units or controllers is not necessary [4].

<sup>5</sup>Visual Meteorological Condition is an aviation flight category in which visual flight rules flight is permitted, in which pilots have sufficient visibility to fly the aircraft maintaining visual separation from terrain and other aircraft. [https://en.wikipedia.org/wiki/Visual\\_meteorological\\_conditions](https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_meteorological_conditions).

### THE ROTARY-WING TASKS

Helicopter related tasks can be grouped in many ways. The main distinction must be made upon the helicopter categories, since we can’t expect the same capability from a light scout or trainer-, from a medium utility or attack-, or even from a heavy category transport helicopter. Tasks can be examined by their nature also, whether they are carried out in homeland, or abroad as an expeditionary allied operation [3]. Probably the most competent grouping must be based on the operational employment scope of the helicopter categories. To do this, the ATP-49(G) [4] provides an excellent help.

**Transport tasks**, which – as a collective term – encompasses the widest range of helicopter applicability. Its sub-categories:

1. Air transportation, which stands for the transportation of soldiers, technical assets and different natured supplies. Payload transportation can be executed on-board of a helicopter or/and underslung.
2. Air mobile operations, which grants flexible mobility and quick response ability for land force subunits
3. Airborne missions for helicopters involve the movement of airborne forces and their logistic support into an objective area by air. In airborne operations helicopters are used to deliver land forces and equipment directly onto the objective area by airdrop, which uses parachutes and/or freefall delivery.
4. Aeromedical evacuation (as follows: AE) is the movement of patients under medical supervision by air transport to and between medical treatment facilities as an integral part of the treatment continuum. Although the use of a rotorcraft can decrease transport time, the aeromedical environment creates unique stresses on the injured patient. There are three sub-categories of the AE on doctrinal level [6]. Forward Aeromedical Evacuation is the phase of medical evacuation that provides airlift for patients between point of injury or illness and the initial point of treatment within the area of operations. It is important to underline, that the AE is carried out in this case in the warzone. Tactical AE provides air transport for patients between medical treatment facilities (as follows: MTFs) within the area of operations. It is conducted by rotary or fixed wing air assets in the joint operational area (as follows: JOA). Strategic AE provides air-transport for patients from MTFs within the area of operations to MTFs outside the area of operations or additional AE between MTFs outside the area of operations. Strategic AE can be done from overseas areas or from theatre of active operations, to the home nation, to other NATO countries or to a temporary out of theatre safe area. It is ultimately a national responsibility. Nevertheless bi- or multi-lateral agreements between nations are an efficient way to share scarce resources of AE aircraft, equipment and AE teams. Consideration should be made for the use of civilian charter aircraft for strategic AE provided they can fly into the operational theatre or can operate from an airport in a safe area, within reach of the available tactical AE assets.

**Attack tasks**, which are covered by armed (attack or scout) helicopters. RWs rapidly apply firepower against the enemy’s manpower and technical assets. Helicopters can even restrict the enemy forces’ freedom of movement. The attack task’s sub-categories are as follows:

- Air Interdiction is an air operation, conducted to divert, disrupt, delay, degrade or destroy an enemy’s military potential before it can be brought to bear effectively and at such distance that detailed integration of each air mission with the fire and maneuver of friendly forces is not required.
- Close Air Support (as follows: CAS) is an air action against hostile targets which are near (or close) to the friendly forces and which require detailed integration of each air mission with the fire and movement of those forces.
- Close Combat Attack (as follows: CCA) is an attack by combat helicopters providing air-to-ground fires for friendly units engaged in close combat as part of the combined arms team. Due to the close proximity of friendly forces, detailed integration between air and ground forces is required. Due to the unique capabilities of aircraft and the enhanced situational awareness of the aircrews, final guidance from ground units or controllers IS NOT necessary. (CCA is not synonymous with CAS!)

**Direction and control of fires**, which is carried out from the board of the helicopters to direct and control artillery fire, RW and/or FW air asset’s fire taking part in any CAS actions. It includes a series of decisions regarding the triggering, observation and correction of fire. Helicopters can quickly maneuver into observation positions that would otherwise be difficult or impossible for ground troops to achieve, greatly increasing the field of view. The direction and control of fires includes:

1. Forward Airborne Air Control is the use of an airborne Forward Air Controller (as follows: FAC) is a proven, effective means to provide CAS to land surface forces.
2. Airborne Artillery Call Fire: Helicopters provide an excellent platform for an Airborne Forward Observer to direct and control the full range of artillery fire.
3. Naval Fire Support: Similarly, during amphibious or littoral operations, Helicopters can direct and control Naval Fires.

**Reconnaissance and Tactical Security**. Helicopters are excellent airborne surveillance and reconnaissance platforms and can provide commanders timely and accurate information about the adversary and environment. Aircrew with their observation and surveillance sensors (such as electro-optical devices and Forward Looking Infra-Red (FLIR systems), are capable of acquiring information, interpreting, and exploiting it. The three missions in the reconnaissance and tactical security role are:

1. Reconnaissance (as follows: RECCE) is a mission undertaken to obtain, by visual observation or other detection methods, information about the activities and resources of an enemy or potential enemy, or to secure data concerning the meteorological, hydrographic, or geographic characteristics of a particular area.
2. Surveillance is the systematic observation of aerospace, surface or subsurface areas, places, persons, or things, by visual, aural, electronic, photographic, or other means.
3. Tactical Security missions for helicopters are conducted to gather information about adversaries and provide early warning, reaction time, maneuver space and protection for the main body. Tactical security missions include screen, guard, covering force, area security and escort missions.

### Specialized tasks

1. Command Control and Communication Support (as follows: C3 Support) covers a range of tasks, centered on the movement and situational awareness of commanders and the provision of vital communication links in the absence of a fully established ground network. It is divided into three missions: *Airborne Command and Control*, which is exercised upon the commander’s and staff’s high mobility need. Helicopters can provide this mobility using their integral radios, allow the commander to maintain situational awareness and communicate with his forces while on the move. It is particularly essential during the urban operations, where flexible C3 become the key element of success using real time information from the helicopter’s board. *Command and Control Support* is the rapid transport of commanders, staff, and liaison officers to save time in battle procedure and/or to provide commanders with an aerial perspective of their Area of operations. *Relay*: Helicopters can be employed as communication relay stations and can relay communication messages as well as data. A Helicopter relay station can greatly expand the range over which data can be viewed by ground commanders.
2. Personal Recovery (as follows: PR). PR is the sum of military, diplomatic and civil efforts to affect the recovery and reintegration of isolated personnel. Helicopters are often critical during the execution of PR missions and could take part in all methods of PR. These can be Search and Rescue, Combat Recovery, Combat Search and Rescue and Non-Conventional Assisted Recovery. During any PR operation, transport helicopters carry out search and rescue tasks, while the attack helicopters play important role in supporting them and CCA.
3. Humanitarian aid tasks. Military RWs can be utilized in a wide spectrum for non-military assignments. These can be decisively food and medicament transportation on civil humanitarian organizations request. In general, this is an air activity to help civilians who are not involved in hostilities.
4. Disaster relief tasks, which include all the military RW air activities preventing any natural born or manmade catastrophes or eradicating their negative consequences. In this field, aerial fire-fighting must be underlined as the most commonly used method, which is realized with an underslung carried water balloon, called „Bamby bucket”.

### HELICOPTER PILOT QUALIFICATIONS

The rotary wing arm has a quite of a wide task range which request specialization from the pilots. Let me mention, as a comperative example, the competencies which are needed to the national search and rescue service and to support special operations.

Search and rescue task can be grouped into two main subtask categories: 1. Visual and/or instrument aided search, flown on low and medium level; 2. Rescue procedure, which comprises all of those flying elements, which support the professional activity of the rescue personnel (paramedic, paratrooper) [5].

In contrast, to support special operations, the aircrew must be qualified to fly NOE using NVGs, to perform air interdiction day and night in urban environment, to deploy soldiers using Fast-

Rope Insertion/Extraction System (as follows: FRIES<sup>6</sup>) and Special Patrol Infiltration/Exfiltration System (as follows: SPIES<sup>7</sup>).

To perform the variety of RW tasks in multinational operational environment, NATO’s Helicopter Interservice Working Group (as follows: HISWG<sup>8</sup>) compiled the „must” helicopter crew competencies which have to be uniformly mandatory for all participating nations. Using these, all the training phases can be clearly derived, which provide the requested pilot qualifications. From now on, connecting the given pilot (or crew) qualifications with RW tasks, such a matrix can be established, which will accurately define the individual’s (or even a crew’s) operational readiness status. By the common understanding of this matrix, by adopting and applying all NATO nations involved in NATO operation, we can achieve the goal of having helicopter pilots and aircrews with uniform competencies. However, before introducing an example to the matrix, it is important to define these qualifications:

**(Aerial) Combat maneuvering**, which is executed in hostile operational environment to avoid and evade threat, posed by RW and FW air assets and surface to air missiles (as follows: MANPADS<sup>9</sup>). The efficient combat maneuvering depends on how quickly we can identify the enemy and its weaponry; on the knowledge of enemy’s TTPs, combat capabilities and limitations.

**Aerial Gunnery qualification.** Having this qualification, the aircrew achieve the capability to engage an enemy by using the weapons of an armed helicopter or the weapon systems of an attack helicopter. These can be different caliber machine guns, unguided rockets, guided missiles, aerial bombs. This capability even comprises the effective use of door gunnery.

**Qualification to flying in Downgraded Visual Environment** (as follows: DVE). We consider the visibility environment to be downgraded, when the pilot’s situational awareness therefore the aircraft control cannot be maintained as comprehensively as it is in normal VMC or can even potentially be lost. Under DVE conditions, the helicopter pilot is not able to assess his own spatial situation and to detect stimuli coming from his surroundings. DVE can be caused by smoke, sand, dust, fog, rain, clouds, snow, smog, night due to flat light conditions.

DVE can also be induced by the air asset itself, when the pilot lands or takes off from a dusty or snowy surface.

**Device aided night flying qualification.** Flights can be executed by intensifying of the ambient lights (moon, stars, earth’s surface light sources) and radiated heat by using imaging devices. It must be borne in mind, that due to the constraints of these devices (loss of depth perception, angle of view degradation, reduced visibility of ground reference points) difficulties can be experienced during the training.

---

<sup>6</sup> FRIES – Fast-Rope Insertion/Extraction System: FRIES is a technique for descending a thick rope. It is useful for deploying troops from a helicopter in places where the helicopter itself cannot touch down [11].

<sup>7</sup> SPIES – Special Patrol Infiltration/Exfiltration System: SPIE system was developed as a means to rapidly insert and/or extract a reconnaissance patrol from an area that does not permit a helicopter to land [11].

<sup>8</sup> HISWG – The NATO Helicopter Inter-Service Working Group is part of the NATO Standardization Agency under ACT and works with NATO countries to develop doctrine and TTP’s. The most important product from the HISWG is the ATP-49, which concentrates on Army aviation and Air force helicopter operations [1].

<sup>9</sup> MANPADS – Man-portable air-defense systems are shoulder-launched surface-to-air missiles. They are typically guided weapons. [https://en.wikipedia.org/wiki/Man-portable\\_air-defense\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Man-portable_air-defense_system)

**Qualification to soldiers’ insertion and extraction.** Although it looks obvious to deploy soldiers by RW air assets with vertical and/or roll-on landing, it is not always possible due to some environmental constraints. These could be for example those confined areas (urban or heavily wooded areas), which limit or even prevent the landing itself. Besides, in some cases the earth surface (such as open water or highly sloped terrain) or the artificial obstacles (like wires) confine the landing. In these cases, alternate insertion/extraction methods must be used to accomplish the given missions. In these situations, the following qualifications are required:

- Usage of SPIES. It is a practice of using a system with one end attached to the helicopter and the other end attached to personnel standing on the surface. Personnel can be inserted or extracted from a confined area and transported hanging on the system to a more suitable landing area. SPIE equipment can be a rope, a rope ladder or other (alpine) means.
- Another SPIES equipment is the so called „Rope ladder”, which supports multiple soldier insertion and extraction when the aircraft is required to hover at a height that is too high to jump, but low enough that the rope ladder will reach the surface.
- Usage FRIES. It is a practice of using one or more ropes at a time with one end attached to the helicopter’s hard point allowing soldiers to quickly slide down from the board of a given rotorcraft for insertion to the objective area. The rope has many lanyard loops on it to support quick extraction once soldiers are secured to them.
- Hoisting is the practice of using the helicopter’s hoist device to lower and retrieve either personnel, stretcher or equipment; which is typically used for rescue operations
- Rappel. It is a practice of using rappelling lines attached to the helicopter’s hard point to rappel down the assault force to the objective area.
- HELO casting, when deploying soldiers into water from the low hover or slow forward flight.
- Parachute dropping qualification, when soldiers are deployed from the board of a relatively high-flying rotorcraft by having them jumped off the deck.

**Low level flying qualification,** which enables covert approach to the enemy’s position to exploit the advantage of an air raid. There are three main types of RW low level flights: First is a „normal” low level flight ~15 meters over the ground surface or/and the obstacles; contour flight ~10 meters over the ground surface or/and the obstacles and the NOE flight which is performed less than 10 meters over the ground surface or/and the obstacles.

**Formation flying qualification,** which enables effective employment of two or more air assets to accomplish a mission. Formation benefits unity of effort, mutual support and threat detection.

**Underslung load carrying qualification.** With the capability of swiftly carrying relatively heavy and large loads in the operational area, helicopters provide freedom of movement for the combatant forces. Considering the training aspect – as an effecting factor –, there are three main underslung load types: High density load, which behaves stable while carried (do not tend to swing under the helicopter during the flight); Low density load, which behaves unstable while carried (tend to swing under the helicopter during the flight, the amplitude of swinging depends on the speed, the higher is the flying speed, the swinging amplitude becomes higher and vice-versa); The aerodynamic load exhibits both instability and stability which depends on the flying speed (the higher is the flying speed, the swinging amplitude becomes lower and vice-versa).



**Qualification to use water/bamby bucket.** To support fire-fighting operations, helicopters can use water/bamby buckets as underslung loads. However special training is required to use the bucket to extinguish fires correctly due to extreme heat and low air pressure conditions. In order to carry out successful fire extinguishing – in addition to the previously mentioned conditions – wind speed and direction must be taken into consideration, flying altitude and speed must be chosen correctly.

**Mountainous terrain flight qualification.** It is an area, where the changes in terrain elevation exceed 900 meters within a distance of 10 NM [4]. Operating in mountainous terrain requires additional training and knowledge due to degraded helicopter performance and negative environmental conditions like down- and upwashing.

**Over-water flying qualification.** Due to the wave movements of the open water surface, helicopter pilots can have a spatial disorientation during the rescue operations (especially in hover mode). Heavy winds make situation often even more difficult. Pilot training must concentrate on handling these negative factors.

**Qualification to operate under CBRN<sup>10)</sup> conditions.** Nowadays, NATO forces are likely to encounter CBRN environments when operation in hostile environment. RW pilots must be capable to handle these effects, to use their personal protective gears, to fly under the psychic stress load.

**Instrument flying,** when flights cannot be carried out under visual meteorological conditions due to low visibility or ceiling.

### MATRIX OF RW TASKS AND HELICOPTER PILOT QUALIFICATIONS

Having been defined the RW tasks and all the qualifications which are requested for their completion, a comprehensive matrix-like table can be drawn.

Assessing this matrix, it becomes obvious for each of the commanders which given individual or aircrew can be assigned to specific tasks. Moreover, this matrix provides guideline in standardizing training requirements for NATO helicopter crews in support of land operations.

However, the determination of the requested pilot qualification could be a bit faded by the fact, that it is not always clear that a certain qualification for a given task mandatory or just recommended. Likewise, current operational needs and environmental conditions must be also taken into consideration in order to determine the need for any pilot qualifications. As an example: Whether the NOE qualification is required for an air transportation to mitigate threat or is it only recommended due to the proper reconnaissance support in the given operational area? Remaining on air transportation: mountain flying qualifications cannot always be mandatory to perform it, since it is unlikely that we always fly at mountainous terrain.

Table 1 illustrates an example of some elements of the above explained matrix. In order to interpret the matrix, as follows the letters explanations: X = Must to have a qualification; A = Qualification is advisable; D = The need for a qualification depends on the nature of a given task; O = The need for a qualification depends on the operational environment; - = No need for the qualification.

---

<sup>10</sup> CBRN – Chemical, biological, radiological and nuclear: A collective term used only when referring to a combined chemical, biological, radiological and nuclear operation [9].

## Bali Tamas: Complex Approach to the Helicopter Pilot's Operational Training

TASKS	HELICOPTER PILOT QUALIFICATIONS																				
	Combat maneuvering			Formation flying qual.	Low level flying			Underslung load carry		DVE qualification	CBRN flying qualification	Mountainous terrain flying qualification	Over-water flying qualification	IFR qualification	Device aided night flying qualification	Insertion and extraction					Aerial Gunnery qual.
	Evasive maneuvers due to FW threat	Evasive maneuvers due to RW threat	Evasive maneuvers due to Surface to Air threat		Low level flying qual.	Contour flying qual.	NOE qual.	Underslung load carrying qual.	Water/Bamby bucket carrying							FRIES qual.	SPIES qual.	HELLO-casting	Rappel qual.	Hoisting qual.	
<b>Transport tasks</b>																					
Air transportation	D	D	A	X	D	-	-	D	-	-	O	D/O	D	-	A	-	-	-	-	-	D/A
Air Mobile operations	D	D	X	X	X	X	X	D/A	-	X	O	D/O	D/O	K/A	X	D/A	D/A	D/A	D/A	D/A	X
AIREVAC	D	D	X	X	X	X	D/A	-	-	O/A	O	D/O	D/O	O/A	D/A	-	-	-	D/A	A	D
<b>Attack tasks</b>																					
Air interdiction	D/A	D/A	X	X	X	X	X	-	-	-	O	D/O	D/O	O/A	X	-	-	-	-	-	X
CAS	D/A	D/A	X	X	X	X	X	-	-	-	O	D/O	D/O	O/A	X	-	-	-	-	-	X
CCA	D/A	D/A	X	X	X	X	X	-	-	-	O	D/O	D/O	O/A	D/A	-	-	-	-	-	X
<b>Direction and Control of fires</b>																					
Forward Air Control	D	D	X	-	X	X	X	-	-	-	O	D/O	D/O	A	X	-	-	-	-	-	X
Artillery call for fire	D	D	X	-	X	X	X	-	-	-	O	D/O	-	A	D/A	-	-	-	-	-	X

Airborne reconnaissance																						
Reconnaissance	D/A	D/A	X	-	X	X	X	-	-	-	O	D/O	D/O	A	X	-	-	-	-	-	-	X
Surveillance	D/A	D/A	X	-	X	X	X	-	-	-	O	D/O	D/O	A	X	-	-	-	-	-	-	X
Tactical security	D/A	D/A	X	-	X	X	X	-	-	D/A	O	D/O	D/O	A	X	D	-	-	D	D	-	X
Specialized tasks																						
Personal recovery																						
CR	D	D	X	X	X	X	X	-	-	O/A	O	D/O	D/O	A	X	A	A	A	A	A	A	X
CSAR	D	D	X	X	X	X	X	D	-	X	O	D/O	D/O	X	X	X	X	D/A	X	X	A	X
SAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	O	D/O	D/O	X	D/A	-	-	A	A	X	A	-
Disaster relief	-	-	-	-	-	-	-	X	X	O/A	-	D/O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Table 1. Example of some elements of the matrix of RW tasks and helicopter pilot qualifications [2].

Although, this matrix can provide clear picture for each of the nations, but the common understanding is shaded by the different interpretation. Even the nations accept JAPCC’s recommendations, the core of the problem is, that there is no consensus amongst the nation on task related helicopter pilot qualifications. While some of the nation allocates not more than one or two pilot qualifications to a given task, others evaluate the need for nearly all of them. It is obvious for the „others”, that all operational aspects and possibilities must be taken into consideration and evidently all their pilots must always be maximally qualified for each of these tasks.

During a Medevac mission, formation flying qualification can be considered as a „must”, since attack helicopters are flying along with the transport helicopters to provide defense for them. On the other hand, formation flying qualification at Medevac can be considered as a „not necessary” one, since it isn’t carried out at a high threat level. So, transport helicopters can perform that as a standalone asset [6]. If there is a significant hostile activity in the vicinity of the rescue area, that task is not a Medevac anymore but a Combat Recovery [7]. Likewise, while combat maneuvering qualification is a must for some nations for airborne reconnaissance, for the others it is just advisable. The difference in views can also be reflected with the fact, that to the sixth version of the qualification matrix which was submitted to Hungary in December 2016, we had 61 amendments.

The dissonance described above predicts, that matrix work out will continue for a long time, and probably no consensus will arise. The NSA will surely release a Stanag, which will most likely reflect the majority's view. In response, the nations belonging to the minority will probably implement this Stanag with premises (if they implement it at all). This dilemma thus leads back to the core problem, that there will be again a large discrepancy in the area of pilot and aircrew operational qualifications amongst the nations.

The situation can be further tinkered by two things. One is the content of the qualification, the other is the frequency of the flights required to maintain the qualification. The problem with the content of the qualification might be best clarified through an example. We must understand, that it is far from the same at the mountain flight qualification if its training is done at 1,000 or at 4,000 meters. The pilots can have the same qualifications (on paper) but again their skills are far from the same. Similar differences may arise for example with regard to DVE or even to the formation flying qualifications. Likewise, in the absence of any common (doctrinal level) regulation, nations tend to differ on the field of the frequency of flights connected to any given qualification. Some maintains IFR qualification with 30 days/flight-, others with 3 months/flight recurrences. It is also obvious, that we don’t get the same level of skill, if the helicopter pilot performs brown-out flights in every 30 days, or just with a 180 days/flight repetition.

Although, it is obvious, that the nations’ budgetary constraints have negative impact on the amount of the flying hours used to maintain competent pilot skills and qualifications and on the density of mandatory checks flights required to maintain the given skills, there must be an alliance level accepted compromised solution on this field as well.

### CONCLUSION

The execution of allied RW missions requires a common understanding of pilot qualifications from the participating nations, moreover an equal level of skills from the actual pilots. To achieve this interoperability goal, NATO NSA HISWG has developed a relevant document as a result of its cooperation with the JAPCC. The nations could express their opinion on the document using the so called "silent procedure".

The elaboration of the document brought many disagreements to the surface, which, although slowed down the activity, did not change its orientation. So far, and thereafter, the "Working Group Forum" interface on the NSA website allows for national suggestions, comments and possible modifications in an interactive way.

The end state will be a Stanag issue, which will provide precise guidance on the skills required for the allied operations, the system of maintaining pilot skills and qualifications. With this, the commanders' resource management will become easier, the pace of operation will increase, as a result of which the capability of initiation remains on NATO's side.

### BIBLIOGRAPHY

- [1] Enhancing NATO's operational helicopter capabilities (Published by: JAPCC, Published in: August 2012., Downloaded from and time: <https://www.japcc.org/portfolio/enhancing-natos-operational-helicopter-capability/>, 22. January 2017. 14:37),
- [2] Standardization of qualification for NATO helicopter crews in support of land operations (Published by: JAPCC, Published in: July 2015., Downloaded from and time: <https://www.japcc.org/portfolio/standardization-qualifications-nato-helicopter-crews-support-land-operations/>, 14 January 2017. 21:38),
- [3] T. Bali: Helikoptervezetok muveleti feladatokra torteno kepzesenek szovetsegesi megkozelitese, Repulestudomanyi Kozlemenyek, XXIX. evfolyam, 2017/2. szam, 53., [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017\\_2\\_index.html](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_2_index.html)
- [4] ATP-49 Edition G Version 1 Use of Helicopter in Land Operations (Publisher: NATO Standardization Office, Published in: April 2015.),
- [5] ATP-10(D) Search and Rescue (Publisher: NATO Standardization Office, Brussels /Bel/, Published in: 10 January 1995),
- [6] AJP-4.10(B) Edition B Allied Joint Doctrine for Medical Support (Publisher: NATO Standardization Office, Brussels /Bel/, Published in: May 2015),
- [7] BI-SC Joint Operational Guidelines 11/01 Joint Personnel Recovery, (Publisher: NATO Allied Command Transformation, Published in: 28 January 2011),
- [8] Aircrew Training Requirements for Nap of the Earth flights, (Publisher: US. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, Published in: August 1976)
- [9] AAP-6 NATO Glossary of Terms and Definitions. (Publisher: NATO Standardization Office, Brussels /Bel/, Published in: 12 January 2016.)
- [10] Night Vision and Night Vision Goggles (Publisher: USAF Air War Collage, Published in: 1990)
- [11] MCRP 3-114A Helicopter Rope Suspension Techniques Operations (Publisher: US Marine Corps: Published in: 13 August 2013)

---

### *A HELIKOPTERVEZETŐK KIKÉPZÉSÉNEK KOMPLEX MEGKÖZELÍTÉSE*

*A többnemzeti környezetben teljesített katonai forgószárnyas feladatok végrehajtásai több esetben nehézségekbe ütköztek a benne résztvevő nemzetek eltérő harcászati felfogásai, illetve a gépszemélyzetek különböző repülési jártaságainak okán. A műveleti siker megkívánja azt, hogy a benne résztvevő helikoptervezetők rendelkezzenek az elvárt műveleti repülési képesítésekkel. Olyan szintű és jellegű képesítésekkel, melyek biztosítják a zökkenőmentes interoperabilitást. Természetesen a NATO szabványosítási feladatait ellátó szervezetek sem mehetnek el e feladat mellett. Megkezdődött a témával kapcsolatos kidolgozó munka, melynek részleteivel foglalkozik tanulmányom.*

**Kulcsszavak:** *helikopter, helikoptervezető, képzettség, kiképzés, forgószárnyas feladatok*

---

---

Dr. Bali Tamás ezredes  
Bázisparancsnok helyettes  
MH 86. Szolnok Helikopter Bázis  
bali.tamas@hm.gov.hu  
orcid.org/0000-0001-6098-8602

---

Col. Tamás Bali Ph.D.  
Deputy base commander  
HDF 86th Szolnok Helicopter Base  
bali.tamas@hm.gov.hu  
orcid.org/0000-0001-6098-8602

---



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/87/41>

Matyas Palik, Máté Nagy

## BRIEF HISTORY OF UAV DEVELOPMENT

DOI: 10.32560/rk.2019.1.13

*In this article, the authors present the technical development of the drones from the beginning to the present. The reader will get to know the most important periods and events of the drone's military application. At the end of the article, the authors summarize the four main purposes of military use of drones.*

**Keywords:** *Flying Bomb, Pilotless Target Aircraft, Unmanned Aerial Vehicle, UAV, drone*

### INTRODUCTION

The human's desire to fly high in the sky emerged as early as its common sense. However, it took a long time to make this dream real. A large number of scientists had worked on this topic and it had demanded so many brave people's life, until finally men could ascend from the ground. By that, people's enthusiasm towards the aviation led to success. At first they conquered the air by balloons, later by airships, and finally with airplanes.

Meanwhile, the idea to use a machine that can fly without a person on board has always been in the researchers mind. This idea is not surprising at all, because such a system's advantages are obvious. We don't have to count with the death of the on-board personnel, if the aircraft is destroyed for some reason. In addition, we can use them for such boring tasks, like aerial reconnaissance. Finally, their financial advantage is unquestionable, due to the fact, that in general a UAV's<sup>1</sup> price is lower than the price of a conventional aircraft.

Similar to a lot of objects that are used even in the civilian life, UAVs are the results of the developments carried out during military conflicts. Even though there were some unmanned balloons used as early as the middle of the 18<sup>th</sup> century to destroy the enemy, in my papers I examine only the heavier-than-air UAVs. These type of aircraft appeared in the First World War that's why I started to study the history of unmanned aerial vehicles from this date. I divided the history into four eras, which are separated by the milestones of the development, subsequently by the military conflicts. As nowadays every nation has their own UAV research program, I found it important to present some of the Hungarian developments too, in the chapter where I describe today's drones<sup>2</sup>.

Nowadays unmanned aerial vehicles are invaluable assets for each modern military. We seldom can find a country, whose military does not possess any type of UAV. So we can say that the history of their development is part of the history of military technology.

---

<sup>1</sup> UAV – Unmanned Aerial Vehicle

<sup>2</sup> Drone – Expression used for the Unmanned Aerial Vehicle

## FROM THE BEGINNING OF AVIATION TO THE END OF WORLD WAR II

In 1903 with the first flight taken by the Wright brothers, developments in aviation accelerated and soon the first Unmanned Aerial Vehicle was created. It was the time of flying bombs, which is a manned or unmanned aerial vehicle or aircraft carrying a large explosive warhead, a precursor to contemporary cruise missiles. In contrast to a bomber aircraft, which is intended to release bombs and then return to its base for re-use, a flying bomb crashes into its target and is therefore itself destroyed in its attack. During the First World War it was very difficult to replace the lost airplanes and pilots, which happened quite frequently due to the mass introduction of warplanes. To solve this problem, military leaders started to think about using Unmanned Aircraft, in certain missions. According to the theory of Douhet, a nation's resistance could be broken and a country could be defeated by terror bombings. The use of flying bombs seemed to be a good asset for this task.

The first prototype of such a machine was linked to the American Elmer Sperry, who created an aircraft that was controlled by autopilot. Military professionals saw big potential in the UAV and they gave seven Curtiss N-9s to be mounted with this autopilot system. First test flights were carried out in 1917 with a pilot in the cockpit. This pilot was responsible for the take-offs and landings. However, the other phases of flight were guided by the autopilot. After flying 48 km the bombs were ejected, but it couldn't hit closer to the target than 3 km.

Another flying bomb, the Kettering Bug [Figure 1.] was completed in the November of 1917. It was ordered by the US Military and constructed by Charles Kettering. The fuselage was created by Orville Wright, the control and navigation system was developed by the topic's expert, Elmer Sperry who created the automatic airplane that was mentioned above. After take-off the small sized, biplane was guided by the automatism in the direction of the target, where when the pre-set time passed, the engine stopped, the wings fell down. The torpedo shaped body- filled with 80 kg explosive- hit the target and exploded. [13] The 40 HP 4 piston Ford engine could accelerate the aircraft to 100 km/h. Although the construction was successful, it didn't participate in the war, because by the time the U.S. Military put it into service, the war had ended.



Figure 1. Kettering Bug being prepared for take-off



After the First World War, fighter aircraft became faster, stronger and more maneuverable. This change affected the method of training of the pilots and the air defense personnel. In order to simulate how to act against these air targets, Pilotless Target Aircraft or PTA<sup>3</sup>s were developed. A program with the aim of developing such an aircraft ended up in the creation of the Queen Bee in the United Kingdom. This new type of UAV meant a breakthrough and was a real innovation. It was the first system with the capability of returning after completing its mission, unless it was hit. The remote control system was mounted into a De Havilland DH 82 Tiger Mouth, with a ceiling of 5200 m and a top speed of 180 km/h. Furthermore the Queen Bee was the first aircraft which was nicknamed Drone, meaning that it deserves its place in the history books [13].

After the outbreak of the Second World War, the militaries' demand for Pilotless Target Vehicles started to grow rapidly. That's why the Radio Plane, [Figure 2] codenamed OQ-2 was created in the US by Reginald Denny. It was a monoplane made of wood and propelled by an aircrew. The UAV could land with the help of a parachute if the datalink was lost for some reason, a function that proves it to be a relatively developed model. Furthermore it was able to take off from its landing gears on an ordinary runway. In contrast with the earlier UAVs, damaging could be avoided because of these features.



Figure 2. A Radio Plane on the ramp ready for departure

Following this, several OQ- models were made by Reginald Denny's company, the most developed one of this series was the OQ-14, which remained in service even after the Second World War.

During the war, more and more bomber aircraft were lost in the air defense fire during the terror bombing sorties. The fighting parts started to seek for alternative solutions to replace the conventional bombers. They returned to the idea of using flying bombs for this purpose. Germans started to develop the V-1 aerial torpedo in the end of 1930s with the aim of bombing the city of London. Its technical background was provided by the invention of pulsejet engine in 1941. The system hadn't become combat ready for a long time despite several years of research and experiments. During the test flights it turned out that there were serious problems with its stability. The V-1 was first used in the combat theatre in 1944 against London, as a revenge for the D-day. The engine provided enough power to take the warhead, filled with 850 kg explosive, to a distance of 320 km. To control the flight, the German engineers used a conventional autopilot system consisting of a gyroscope, a barometric altimeter, and distance measure equipment. After reaching the pre-set distance the engine stopped, the V-1 became nose heavy, and

---

<sup>3</sup> Pilotless target aircraft

started to dive, it acted like a bomb launched from a bomber. At the time of impact, the warhead activated and exploded. During the Second World War, about 3200 V-1s were launched, which demanded about 1000 life. This number shows that even though the Germans called it a ‘magic weapon’ it had little impact on the outcome of the war [15].

### EVOLUTION OF AVIATION IN THE FIRST DECADES OF COLD WAR

After the Second World War, researches related to the UAVs continued, which was supported by the big development of automatic systems. In the 1950s with the appearance of aircraft and missiles flying over the speed of sound, the air defense units needed new assets to simulate targets like these. Military leaders wanted to develop pilotless target aircraft with supersonic speed. In 1953 the Radioplane branch of Northrop started working on the AQM-35 supersonic PTA, [Figure 3.] which carried out its first take-off in 1956. It was able to fly as fast as Mach 1.55. Its main task was to help with the training of air defense missile units against supersonic airplanes. Even though it was possible to launch it from the ground, most of the cases it was launched from an airplane, from where it was controlled. All together 25 models was build, but the program was stopped, because the UAV was so fast that the air defense systems couldn't track it, so they were unable to lock on this UAV [13].



Figure 3. The AQM-35 supersonic target PTA

During the cold war, thanks to the global nuclear threat, strategic reconnaissance became essential. The U-2 spy plane, which was developed by the commission of US government in the early 1950s, became the symbol of this era. However on 1st May 1960 the Soviet air defense shot down a U-2 over the Soviet Union. This incident made it obvious, that high altitude does not provide enough protection, in addition the program's high costs, and the media scandal following the shooting down, had shown the disadvantages of such airplanes. If we take into consideration these factors, it is not surprising that leaders started to think about unmanned reconnaissance systems that would take high quality photos deep above the enemy controlled area [6] This is how a new application of UAVs, the reconnaissance drones were born.

In 1960 the USAF gave a commission to the Ryan Aeronautical about converting the Ryan Model 147 PTAs into reconnaissance drones. This new UAV was given the name „Lightning Bug” codenamed BQM-34 Firebee. [Figure 4] This RPV could be launched with the help of a catapult either from the ground or from a ship. However, most often it was started from DC-130

airplanes, which could carry 4 drones at the same time. Initially, after having finished its mission, the Firebee landed with its parachute, later specially modified CH-3 helicopter ‘caught’ it, then put it on the ground on a described location. For the first time, this new unmanned aerial vehicle proved to be a useful asset in the Vietnam War [13].

During the Vietnam War, these models carried out more than 3400 sorties in the 100<sup>th</sup> Strategic Reconnaissance Wing. As fighter aircraft were often shot down by air defense missiles, it became a priority to locate and destroy them. For this purpose the US used mainly the Firebees. The Vietnamese SA-2 air defense missiles were radio controlled, so it was easy to detect their omitted signals. The drone sent its reconnaissance data on a RB-47 airplane, where the location of the missiles was determined on the basis of this information. In addition the UAV was so developed that it had an active radar warning receiver, which increased its survival capability.

All together the Ryan Aeronautical made 28 modifications of the Model-147 UAV. The new drones’ tasks included day-and-night photographing, electronic detection, jamming, deception and spreading leaflets. The fast reaction was delayed by the fact, that information gathered with this could be analysed after the UAV’s return. By 1972 it was even possible to broadcast the data live to the ground station. The Ryan Model 147-SC was equipped with TV camera and datalink system. The Ryan Model 147N could amplify its radar signals, so it was detected as it was a much larger target [13]. From 1972 the UAVs joined the propaganda warfare by spreading leaflets, because the conventional airplanes had suffered serious damage during these missions.



Figure 4. Ryan Model-147 UAV

### FROM THE END OF VIETNAM WAR TO THE END OF 1990S

After the end of Vietnam War in 1975, from the late 1970s and early 1980s the rapid electronic development gave a huge push for the airplane research. From these years digital technology was used intensively, thanks to the cheap CPUs and software developments [2]. One of the biggest military conflict of this time was the Arab-Israeli War. According to the doctrine of the small country, it invested a lot in its air force. To prepare for the war, intelligence and information gathering turned out to be a crucial point, in which Israel seemed to be the best [11]. It was carried out largely by UAVs, on the basis of the US experiences in the Vietnam War.

In the 1970s Israel was the leading UAV manufacturer country. This era’s rapid technologic development, that I have already mentioned, helped this process. Two of the most successful

drones of these decades are the Mastiff and Scout UAVs. They gathered information of the ground and air forces of the enemy, and the location of radio locators and its parameters. During the Israeli air strikes they conducted reconnaissance, estimated the result of the strikes, and monitored the movement of enemy units. Certain UAVs were able to locate and jam the enemy's radio equipment, which capability proves their electronic development. The Israeli Air Force monitored the Syrian air bases by drones, which provided live data about the taking off of MiG fighters. Therefore, Israeli fighters could attack the Syrian airplanes just after take-off.

Having seen the initial success of UAV developments, engineers started to develop even more advanced unmanned aerial vehicles. This new asset was given the name Pioneer. The biggest purchase of Pioneer UAVs, was executed by the United States. At that time the US Marines had a dire need of small, hard to locate, and cheap drones. The Pioneer is capable of flying on a pre-programmed route, but if necessary, an operator also can drive it. During its operation the US Marines faced several technical issues, and spent a fortune to deal with these problems [13]. Its features include a data transmission range of 185 km. It can be air born for 5 hours and it can carry 35 kg of payload.

After Israeli developments in the 1970s and 1980s the USA became the leading UAV producer country. Military conflicts of that time largely contributed to this fact. In 1991 the US and its allies started the Operation Desert Shield in Iraq. The coalition forces came to a rapid win, because they used state of the art technology. The next big conflict was the Yugoslav War. The NATO air force and the UN joined it in 1995 with the operation Deliberation Force. Reconnaissance played a big role in military planning, and leaders used the experience gained from Gulf War [7]. Since the 1990s the UAVs have been the assets, which have collected extreme amount of data flying deep above the enemy controlled area.

During the operation of Desert Shield 15% of reconnaissance aircraft used by the US military were drones. Their extended range of use is well represented by the fact that all branches of the military started using them. From 1995 Pioneers also joined the war in the Balkan, which had proven to be an effective system in the Gulf War. In the same year the USAF's Predator UAV [Figure 5.] was introduced in the European combat theatre. These two models had SAR equipment and were mounted with systems that provided satellite data link. It made possible to operate and carry out its mission in any meteorological condition. During the operations the Predators estimated the success of the air strikes. During the 120 day long operation they flew 750 hours in 80 sorties. Despite of the large number of missions, only 2 Predators were lost. Here we have to mention that some of the UAVs were temporarily stationed in Taszár Air Base, Hungary. From here they carried out patrolling missions over Bosnia. They seemed to be useful in this task, because they are able to send their data in real time to the CAOC or other higher level leading positions.

From the operation of Desert Storm, even the land forces started to use drones. For this, they needed unmanned aircraft that were cheap, could be launched from hand and were easy to use. These UAVs were powered from batteries and mounted with daytime, black and white cameras. Such an asset is the AeroVironment Pointer, which has a wingspan of 2.74 meters, its length is 1.84 meter, and its weight is 3.6 kg. It can be made ready to launch in 5 minutes by 2 people. One system consists of 4 aircraft and a ground control station whose weight is 22kg. The Pointer can operate in 50–150 m high, in a distance of 8 km for one hour. With these inventions, it

turned out that drones can be used in many ways in almost every combat theatre, and they are extremely effective [13].



Figure 5. A Predator UAV in Taszár, Hungary, during the Yugoslav War

### UAVS OF THE 21ST CENTURY

In our century stealth capability of fighter aircraft is a basic requirement as well as integrating the on board system into one complex unit. This idea leads us closer to topic of the information warfare, whose aim is to achieve information superiority against the enemy. In the information warfare, both the soldier and the commanding post have a huge need of constant information. To meet this demand, UAVs are used in mass, and they are indispensable in the flow of information. Due to their effectiveness their number is still growing. Although their main purpose was gathering information, today they can execute air interdiction or air suppression missions [4]. Air strike capability is best represented by the MQ-9 Reaper UAV [Figure 6.] of the United States.

The Reaper is the big brother of the Predator, which flew in 2001 for the first time. It is the first hunter-killer UAV designed for long-endurance, high-altitude surveillance. However, its main task is to strike ground targets. For this purpose it can be mounted with several suspension equipment, like the AGM-114 Hellfire air-to-ground missile, GBU-12 laser or GBU-38 JDAM satellite guided bomb. Besides airstrikes, it can carry out strategic air surveillance too, due to its 14-42 hours of endurance. Its first sortie was in Afghanistan in 2007, but since that it was also used in the conflicts of Libya and Mali. The Predator and Reaper aircraft have the highest operational readiness rate of any aircraft in the US DoD inventory, often exceeding 99% mission availability rate.

In today's asymmetric warfare the small, cheap, hand-launched UAVs became extremely important, especially at the army and the marines. They can be used in the urban warfare too, because they are powered by electricity, which makes them silent, portable, and can be controlled with the help of a laptop or tablet. These drones are usually mounted with EO or IR cameras, and its pictures are transmitted in real time to the operator. However we have to take into consideration that in their operational altitude the possibility of visual coordination goes sour due the circumstances of the combat theatre, like smoke, dust or fire. The Black Hornet Nano [Figure 7.] is the best example for this type of drones. This is a military micro unmanned aerial vehicle developed by Prox Dynamics AS of Norway, and in use by the Norwegian and British Army and US Marine Corps. The unit measures around 10×2.5 cm and provides troops

on the ground with local situational awareness. They are small enough to fit in one hand and weigh just over 16 g, including batteries. An operator can be trained to operate the Black Hornet in as little as 20 minutes. The UAV is equipped with a camera, which gives the operator full-motion video and still images.



Figure 6-7. A British Reaper operating over Afghanistan in 2009 and a Black Hornet Nano

This article would not be complete without briefly mentioning the Hungarian UAV developments and researches. The Meteor PTA family has been produced for Hungarian Defense Forces since 1999 by the Aero-Target Bt. These UAVs are used mainly to train the air defense units' personnel, on the practice missile shootings. The first product was the Meteor-1 in the series. In 2005 the company won the competition to modernize the existing PTAs. The Meteor-3 [figure 8.] made it possible to provide cheap and fully Hungarian target material for the users. This UAV is able to follow a route automatically. Even though its top speed is only 140 km/h, its duration is 40 minutes and range is 60 km. The Meteor-3 has a payload of 4 kg including fuel, and ceiling of 3000 m. It can carry up to 4 pyrotechnic cartridges, but can be mounted with radio telemetry too. In addition it can transport a 180 mm Luneberg lens to increase its radar cross section. The 2.7 m wingspan, 1.8 m long and 11kg body is powered by a 30 cm<sup>3</sup> piston engine. It is launched with the help of catapult and it lands on its skids. Unfortunately, its slow speed decreases its credibility, so the producer began developing a faster PTA.



Figure 8-9. the Meteor-3 ready for departure and an airborne Skylark

Probably, the most important reconnaissance UAV of the Hungarian Defense Forces is the Skylark I LE [Figure 9.], which was bought from Israel in 2009. In this year the training of the per-

sonnel could be started too, both in Hungary and Israel. After the training the system was deployed to the PRT<sup>4</sup> shift in Afghanistan. During the time it spent on mission, it gradually fitted into the system of the team. As the number of flights and the flying hours grew, the demand for the real time air surveillance was growing too. The live pictures were broadcasted to the operational center, giving a huge help for the decision makers. It was used in FOB<sup>5</sup> missions and to secure CIMIC<sup>6</sup> projects. The UAV was also useful in detecting a possible IED<sup>7</sup> attack. Besides these route surveillance in front of own forces, and convoy escort became its principal tasks too.

In our century, we can see that UAVs are used in more and more fields. As they are getting more developed, they can replace conventional aviation in larger and larger numbers. By this, I mean that we have seen that conventionally drones are used for four main purposes:

- a weapon system where the aircraft itself is the weapon (flying bomb);
- or it is mounted with some kind of weapons (Reaper);
- information gathering unit including all UAVs with cameras and reconnaissance equipment (Predator);
- as a simulated target for the air defense units (PTA).

However, today there are researches to create cargo unmanned aerial vehicles too for example the Eurocopter EC-145. This fact suggests that the potential using of UAVs is seemingly unlimited, because of the constant growing of applications and it has become obvious for all militaries in the world. Therefore every nation has its researches in this topic, including countries with such a small military, like Hungary. As time passes they will get so advanced, that we can start thinking about, when will they replace conventional aviation, or will they ever replace it completely? [16][17][18]

## SUMMARY

In the First World War drones were just in experimental phase, their mass use was impossible. As the airplanes main task was terror bombing, UAVs were used for this purpose. They had poor automatization, so they were inaccurate. The lack of technical-technological development didn't permit making more complicated, more reliable, and more accurate drones.

Between the two wars it turned out that one possible direction of developments is the PTA. Although we have seen some usable prototypes, they were not ready to be widespread. However in the Second World War using drones as target aircraft became general, because of the necessity of training pilots and air defense units. Other big area where UAVs were used was the aerial torpedo. These assets tried to replace the lost aircraft during the air attacks, and reduce their high cost. In addition, the leaders didn't have to count with losing a pilot's life or with captivity.

After the Second World War in the arms race of the cold war UAVs were still useful. Most often they were used as supersonic PTA, to train the air defense units' personnel. Air defense missile units went through a rapid development due to the latest jet fighters and nuclear threat. This is

---

<sup>4</sup> Provincial reconstruction team

<sup>5</sup> Forward Operation Base

<sup>6</sup> Civil-Military Cooperation

<sup>7</sup> Improvised Explosive Device

why strategic air reconnaissance was extremely important at the time of cold war, but after shooting down U-2 over the Soviet Union, US leaders found out, that it is not desired for a pilot flown airplane to spend as much as 12 hours over enemy territory. That's how the first reconnaissance UAV was born, after long series experiments, and it was given the name Lightning Bug.

In the Vietnam War the next big step was when drones were provided by live data network, so the pictures taken by them could be analyzed instantly. It was possible because of the development of electronics and some of the UAVs carried out electronic warfare tasks. More and more systems that had been present only on conventional aircraft were mounted on UAVs, but their main purpose was to take aerial pictures.

In the late 1970 and early 1980 the digital technology made it possible to create cheaper and lighter-than-ever UAVs. The leading developing country was Israel and its drones had multiple roles. They formed the basis of UAVs that we use today.

In the conflicts of 1990s the US forces could execute more accurate strikes than ever. It was largely because of the information that was gathered in large quantities and was processed in a rapid pace. It led to the information warfare, where drones have a key role. In this decade it was proven that all branches can use UAVs and they are very effective in every theatre.

Nowadays each military possesses some kind of UAVs including the Hungarian Defense Forces. We can see that with the extension of their role their number will increase in the future. In my papers I have shown that the military conflicts where the motivating factors to develop drones.

One of main reasons of their development is the limitations of human being. The lack of person on board has several advantages, like extended maneuverability, improved stealth capability and almost unlimited duration in time. In addition most of the cases they are cheaper than conventional airplanes [19]. So we can say that it has always been some new need, the lack of capability or change of application in the conventional aviation that motivated people creating UAVs.

### REFERENCES

- [1] Batchelor, John- Lowe, Malcolm V.: A repülés enciklopédiája 1945-2005. Budapest, GABO Könyvkiadó, 2006
- [2] Bertold, Békési: Repülőgépeken alkalmazott digitális adatbuszok Available at [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2011\\_4-cikkek/Bekesi\\_Bertold.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2011_4-cikkek/Bekesi_Bertold.pdf) On 31 Jan. 2016.
- [3] Géza, Bognár – István, Réé: Légifelderítés egyszerű eszközökkel Available at [http://hadmernok.hu/kulonszamok/robotheadviseles6/bognar\\_rw6.pdf](http://hadmernok.hu/kulonszamok/robotheadviseles6/bognar_rw6.pdf) On 19 Jan 2016
- [4] Carney, Duane T.: Unmanned aircraft Systems role in network centric warfare available at [www.handle.dtic.mil/100.2/ADA482197](http://www.handle.dtic.mil/100.2/ADA482197) On 4 Feb 2015.
- [5] Chant, Christopher: Aviation an illustrated history. London, Obri Publishing, 1978.
- [6] Clark, Richard M.: Uninhabited Combat Aerial Vehicles, Air University Press: Maxwell Air Force Base, Alabama, 2000. DOI: <https://doi.org/10.21236/ada391692>
- [7] János, Jakus: A NATO légierő csapásai Jugoszláviára 1999 Available at [http://portal.zmne.hu/download/bjkmk/bsz/bszemle2005/hadmuv0201\\_2005.html](http://portal.zmne.hu/download/bjkmk/bsz/bszemle2005/hadmuv0201_2005.html) On 2 Feb 2016.
- [8] Macaulay, Horace R. (Red) Ground Controlled Interception Radar in Operation NEPTUNE/OVERLORD <http://www.rquirk.com/cdnradar/cor/chapter11.pdf> 2015.10.10.
- [9] Niccoli, Riccardo: A repülés története Pécs, Alexandra Kiadó, 2002.
- [10] Pál, Péter: A légierő csapásmérő képessége az 1991-es öböl-háborúban Available at [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2006\\_cikkek/pal\\_peter.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2006_cikkek/pal_peter.pdf) On 24 Feb 2016
- [11] Mátyás, Csaba, Palik: A III. Arab Izraeli háború repülő és légvédelmi szempontból I. Available at [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2012\\_1/Palik\\_M-Cs\\_arab-izreli\\_1.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2012_1/Palik_M-Cs_arab-izreli_1.pdf) On 24 Feb 2016



- [12] Mátyás Csaba, Palik: Vadászpülőgépek automatizált rávezetése Vozduh-1 rendszerben Available at [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2011\\_3/Palik\\_M\\_Cs\\_Vozduh\\_1.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2011_3/Palik_M_Cs_Vozduh_1.pdf) On 24 Feb 2016
- [13] Mátyás, Dr. Palik: (Szerk.) Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek Szerkesztette: Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013.
- [14] Radar vagy fűrgeség? Available at <http://www.honvedelem.hu/cikk/53012> On 28 Feb 2016
- [15] Gyula, Sárhidai: Robotrepülők Budapest, Zrínyi Katonai Kiadó, 1986.
- [16] Bertold, Békési; Mátyás, Palik; Tímea, Vas; Alexandra, Halászné Tóth: Aviation Safety Aspects of the Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV), In: László, Nádai; József, Padányi (szerk.) Critical Infrastructure Protection Research: Results of the First Critical Infrastructure Protection Research Project in Hungary, Zürich, Svájc: Springer International Publishing, (2016) pp. 113-121., 9 p. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28091-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28091-2_10)
- [17] Zsolt Bottyán • Zoltán Tuba • András Zénó Gyöngyösi: Weather Forecasting System for the Unmanned Aircraft Systems (UAS) Missions with the Special Regard to Visibility Prediction, in Hungary, In: László, Nádai; József, Padányi (szerk.) Critical Infrastructure Protection Research: Results of the First Critical Infrastructure Protection Research Project in Hungary, Zürich, Svájc: Springer International Publishing, (2016) pp. 23-34., 12 p. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28091-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28091-2_2)
- [18] Zoltán, Dudás; Ágoston, Restas; Sándor, Szabó; Károly, Domján; Pál, Dunai: Human Factor Analysis in Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Operations, In: László, Nádai; József, Padányi (szerk.) Critical Infrastructure Protection Research: Results of the First Critical Infrastructure Protection Research Project in Hungary, Zürich, Svájc: Springer International Publishing, (2016) pp. 47-58., 12 p. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28091-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28091-2_4)
- [19] Matyas, Palik: Need for Unmanned Aircraft System, HADMÉRNÖK II: 2 pp. 145-148, 4 p. (2007)

---

### AZ UAV-K FEJLŐDÉSÉNEK RÖVID TÖRTÉNETE

*Ebben a cikkben a szerzők bemutatják a drónok műszaki fejlődését a kezdetektől napjainkig. Az olvasó megismerheti a drón katonai alkalmazásának legfontosabb időszakait és eseményeit. A cikk végén a szerzők összefoglalják a drónok katonai felhasználásának négy fő célját.*

**Kulcsszavak:** Repülő bomba, pilóta nélküli célrepülőgép, pilóta nélküli légi jármű, UAV, drón

---

Dr. Palik Mátyás  
ezredes, egyetemi docens  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Repülő Intézet  
palik.matyas@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-2304-372X

Matyas Palik, PhD  
Colonel, Associate Professor  
National University of Public Service  
Faculty of Military Science and Officer Training  
Institute of Military Aviation  
palik.matyas@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-2304-372X

Nagy Máté  
Magyar Honvédség  
Légi Vezetési és Irányítási Központ  
nagy.mate@mil.hu  
orcid.org/0000-0002-9636-7338

Máté Nagy  
Hungarian Defence Forces  
Air Command and Control Center  
nagy.mate@mil.hu  
orcid.org/0000-0002-9636-7338



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/246/42>



Huszár Péter

## UAV ÉS FÖLDI SZEGMENSE KÖZÖTTI KOMMUNIKÁCIÓ HATÉKONYSÁGÁNAK JAVÍTÁSA

DOI: 10.32560/rk.2019.1.14

*Mikrohullámú rádió-frekvenciás kommunikációs csatorna hatótávolságának és minőségének növelése érdekében gyakran használnak nagy nyereségű, irányított antennákat. Minél erősebben irányított az antenna karakterisztikája annál kisebb térrészre fókuszálja az elektromágneses energiát és annál kritikusabbá válik az adó, illetve a vevő oldali antennák közötti folyamatos optikai rálátás biztosítása. Hasonlóképpen használható ez a megközelítés a pilóta nélküli repülő és azok földi szegmense között kialakított pont-pont mikrohullámú kapcsolatok esetében is. Azonban a pilóta nélküli repülő folyamatos mozgásban van, mely esetenként nagy sebességgel párosulhat. Így felmerül az igény a földi állomás antennájának folyamatos mozgatására, oly módon, hogy az UAV folyamatosan annak fő nyalábjában helyezkedjen el. A publikációmban egy általam fejlesztett globális helymeghatározáson alapuló, automatikus UAV követő antennamozgató platform működési elvét mutatom be.*

**Kulcsszavak:** UAV, automatikus követő antenna, földi állomás

### BEVEZETÉS

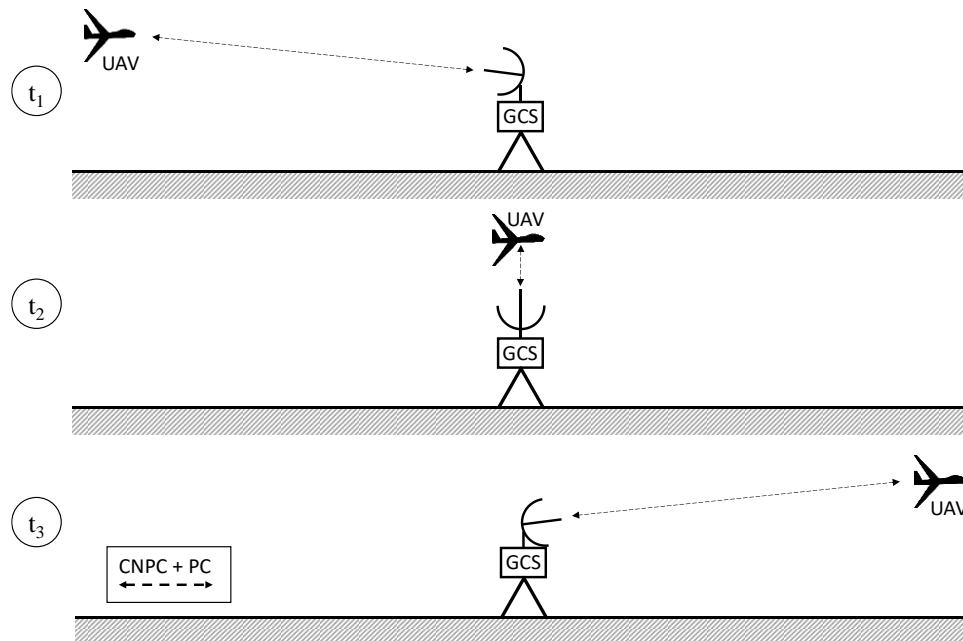
A manapság egyre szélesebb körben elterjedő UAV-k<sup>1</sup> illetve drónok és azok földi szegmense közti kommunikáció jellemzően valamilyen vezeték nélküli, rádiófrekvenciás kapcsolat. E kommunikációs csatornáknak a vivő frekvenciájuk a pár tíz megahertzről egészen több tíz gigahertzig terjed. Egy UAV esetén a kommunikációra szánt pontos vivőfrekvencia kiválasztását számos tényező befolyásolja ám általánosságban elmondható, hogy rövid, illetve mikrohullámú adatátviteli csatornákról beszélhetünk. A frekvencia növelésével, nő a hasznosítható sávszélesség így egyre nagyobb adatmennyiség átvitelére adódik lehetőség, amely alapszükséglet például a nagyfelbontású képek és videók valós idejű közvetítése során. A magasabb frekvencián működő eszközök jellemzően fizikailag is kisebbek és könnyebbek lehetnek, valamint kisebb adóteljesítménnyel képesek megadott hatótávolságot elérni. Hátrányuk viszont, hogy minél magasabb a frekvencia a rádióhullámok annál inkább a fényhez hasonlóan kezdenek el terjedni, így egyre fontosabb az adó és vevő antennák közti optikai rálátás követelménye. A felhasznált antennák nyalábszélességének csökkentésével, azaz irányított antennák használatával az elérhető hatótávolság tovább növelhető azonos adóteljesítmény mellett viszont ennek hatására az antennákkal való precíz célzás egyre kritikusabbá válik. E probléma egy lehetséges megoldását mutatom be e tanulmány során.

---

<sup>1</sup> UAV – Unmanned Aerial Vehicle – pilóta nélküli repülő.

## KÖVETŐ ANTENNA MŰKÖDÉSI ALAPELVE

Egy UAV földi állomás (továbbiakban GCS<sup>2</sup>) antennájának folyamatos UAV-ra irányítása alapvetően két különböző módon történhet. Az egyik lehetőség, hogy az UAV-t és az azon elhelyezett rádió-adót, annak vételi jelerőssége, azaz RSSI<sup>3</sup> alapján követjük. Ez esetben általában több, különböző irányban álló antenna használatára van szükség a földi állomás oldalán. Az általuk vett jelek erősségét összehasonlítva meghatározható az UAV pozíciója az égbolton, melyből megállapítható hogy a fő antennát, melyen keresztül az UAV irányítása (továbbiakban CNPC<sup>4</sup>) és a hasznos teherrel való kommunikáció (továbbiakban PC<sup>5</sup>) zajlik, pontosan hova kell fordítani. Ez a megoldás fizikailag nagyobb és mechanikailag bonyolultabb földi állomást eredményezhet. A másik lehetőség, hogy az UAV követő antennamozgató a saját és az UAV GPS<sup>6</sup> koordinátái alapján végzi el az antenna irányítását. Ez egy kézen fekvő lehetőség, hiszen az UAV fedélzetén minden bizonnyal található valamilyen globális helymeghatározásra alkalmas eszköz és a koordinátái bizonyos időközönként elküldésre kerülnek a földi állomás számára. E koordináták segítségével meghatározhatóak a földi szegmens nagy nyereségű antennájának pontos mozgatásához szükséges információk. A továbbiakban bemutatok egy általam implementált GPS alapú, automatikus UAV követő antennamozgató rendszert, a működés szempontjából fontosabb algoritmusokat, szabványos GPS üzeneteket és azok feldolgozásának módját.



1. ábra Az UAV követő automatikus antennamozgató működésének illusztrációja. A földi állomás (GCS) nagy nyereségű, irányított antennájának fő nyalábját folyamatosan az elhaladó UAV-n tartja. [Készítette a szerző]

<sup>2</sup> GCS – Ground Control Station – földi irányító állomás

<sup>3</sup> RSSI – Received Signal Strength Indicator – vételi jelerősség indikátor

<sup>4</sup> CNPC – Control and Non Payload Communication. Az UAV irányítására használt kommunikációs csatorna.

<sup>5</sup> PC – Payload Communication. A hasznos teher kommunikációs csatornája.

<sup>6</sup> GPS – Global Positioning System – Globális helymeghatározó rendszer.

## GPS ÜZENETEK ÉRTELMEZÉSE ÉS FELDOLGOZÁSA

A GPS vevők általában több különböző szabványnak megfelelő üzenetet képesek küldeni, de a legelterjedtebb az NMEA0183 szabványnak megfelelő kommunikációs protokoll. Az üzenetek értelmezéséhez feltétlenül ismerni kell az említett szabványt és a kommunikációra vonatkozó előírásokat. Az NMEA0183 egy az NMEA<sup>7</sup> által készített szabvány mellyel egységesítette a kommunikációt különböző tengerészetben, repülésben és navigációban használt eszközök között, mint például robotpilóták, GPS vevők, szonárok stb., így lehetővé teszi használói számára az egymással és külső számítógépekkel való információ átvitelt egyaránt. Előír hardveres és kommunikációs protokollra jellemző megkötéseket, definiálja az egyes üzenetek felépítését. A kommunikáció mondatokra épül melyek egymástól függetlenül is értelmezhetőek. Különböző eszközök használhatnak megegyező típusú mondatokat, de lehetőség van saját mondat típusok definiálására is. Az összes alapértelmezett mondat egy „\$” karaktert követő kétbetűs előtaggal kezdődik. Ez meghatározza a küldő eszközt. GPS vevők esetében „\$GP”, GLONASS vevők esetében pedig „\$GL”. Ezt követi három betű, mely az üzenet tartalmának típusát definiálja. Az összes mondat kocsni vissza és soremelés (CR\LF) karakterekkel fejeződik be és nem lehet hosszabb 80 bájtnál. Az egy mondatban szereplő, különböző adatmezők vesszővel vannak elválasztva és sorrendjük mindig azonos. Minden mondat utolsó adatmezője egy checksum<sup>8</sup> mely segítségével az üzenetet vevő fél ellenőrizheti annak helyességét. A checksum egy csillag karaktert követő két bájtos hexadecimális érték, ami az üzenet bájtankénti kizáró-vagy kapcsolatba állításával képezhető a kezdő dollárjel figyelmen kívül hagyásával.

①	\$GPRMC,133227,A,5302.122951,N,00848.874978,E,3.0,27.2,270316,0.4,W,D*3A
②	\$GPGGA,133227,5302.122951,N,00848.874978,E,2,10,0.8,-3.0,M,46.0,M,,*63
③	\$GPGSV,4,1,13,10,19,312,23,12,23,219,23,13,34,151,36,15,61,206,29*76 \$GPGSV,4,2,13,17,37,088,31,18,24,277,26,19,29,126,26,20,05,217,13*77 \$GPGSV,4,3,13,24,57,279,22,28,28,053,29,01,03,032,,04,00,000,*7E \$GPGSV,4,4,13,11,02,019,*41
④	\$GLGSV,3,1,10,74,72,326,20,73,37,063,29,82,16,015,16,75,26,267,24*66 \$GLGSV,3,2,10,65,41,305,23,84,12,127,16,83,32,073,23,71,06,189,15*63 \$GLGSV,3,3,10,72,42,229,27,66,03,345,*6A
⑤	\$GPGSA,A,3,10,12,13,15,17,18,19,20,24,28,,1.1,0.7,0.8*30
⑥	\$GPVTG,27.3,T,27.3,M,2.8,N,5.2,K,D*2B
	\$GPRMC,133228,A,5302.123694,N,00848.875671,E,2.8,27.3,270316,0.4,W,D*3D
	\$GPGGA,133228,5302.123694,N,00848.875671,E,2,10,0.7,-4.0,M,46.0,M,,*64

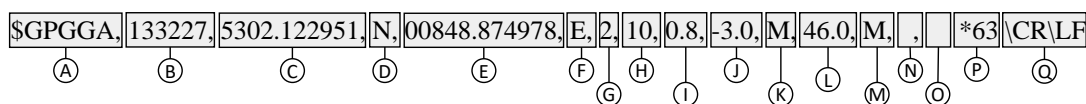
2. ábra NMEA 0183 üzenetsor részlet (Készítette a szerző)

Egy a tesztek során is felhasznált log fájlból kiragadott részletet szemléltet a 2. ábra, mely megfelel az NMEA 0183 által előírt mondatok felépítésének. Megfigyelhetőek a legfontosabb, GPS vevők által használt mondat típusok. Az RMC (1) fejlécű mondat a használt globális helymeghatározó rendszer segítségével meghatározott minimális adatokat tartalmazza. Például a hosszúságot, szélességet, időt és egyéb minőségi jellemzőket. A GGA (2) a jelen alkalmazás szempontjából a legfontosabb üzenet. A mondat típus részletes felépítését és tartalmát a 3. ábra szemlélteti. Tartalmaz minden információt, melyek alapján a földi antennamozgató szegmens el

<sup>7</sup> NMEA: The National Marine Electronics Association

<sup>8</sup> checksum: Ellenőrző összeg, segítségével ellenőrizhető az adatátvitel hibamentessége.

tudja végezni az UAV automatikus követését. A GSV (3, 4) fejlécű mondatok valójában egész mondat csoportok. Ezek azok az információs blokkok melyek a helymeghatározáshoz használt összes műhold azonosítóját, égbolton elfoglalt pillanatnyi helyét, valamint az egyes műholdaktól érkező jelek jel/zaj viszonyát tartalmazzák. Általában 3-4 mondatból áll a mondat csoport attól függően hány műhold segítségével történt meg a helymeghatározás. Megfigyelhető továbbá, hogy a GSV típusú mondatokból szerepel egy GP és egy GL kezdetű is. A GP kezdetűek a helymeghatározáshoz használt GPS műholdakról adnak részletes információt a GL kezdetűek pedig a GLONASS műholdakról. A GSA (5) típusú mondat az aktuális pozíció meghatározásához felhasznált műholdak azonosítóit és a meghatározott pozíció pontosságára utaló HDOP<sup>9</sup> értékeket tartalmazza. Minél kisebbek ezek az értékek, annál pontosabb a helymeghatározás. A VTG (6) fejlécű mondat tartalmazza a tényleges, Föld felszíne feletti mozgási irányt és a horizontális irányban mért sebességet csomóban valamint km/h-ban, Megtudható belőle a helymeghatározás módja is [1][2].



3. ábra NME0183 szabványú, GGA típusú üzenet felépítése (Készítette a szerző a [1] alapján)

Mező	Leírás
A	Küldő eszköz és üzenetazonosító fejléc.
B	Egyezményes koordinált világidő (UTC)
C	Szélesség
D	Szélesség mező É/D indikátora
E	Hosszúság
F	Hosszúság mező K/Ny indikátora
G	Pozíció fix státusz indikátor (0-nincs, 1-GPS fix, 2-DGPS <sup>10</sup> fix)
H	Pozíció meghatározáshoz használt műholdak száma.
I	Geometriai pontosság hígulás (HDOP)
J	Tengerszint feletti magasság (MSL)
K	Tengerszint feletti magasság mértékegysége.
L	Geoid-WGS84 ellipszoid szeparáció.
M	Szeparáció mértékegysége.
N	Differenciális korrekció (Csak DGPS pozicionálás esetén.)
O	Differenciális korrekció ref. állomás azonosítója (Csak DGPS pozicionálás esetén.)
P	Checksum

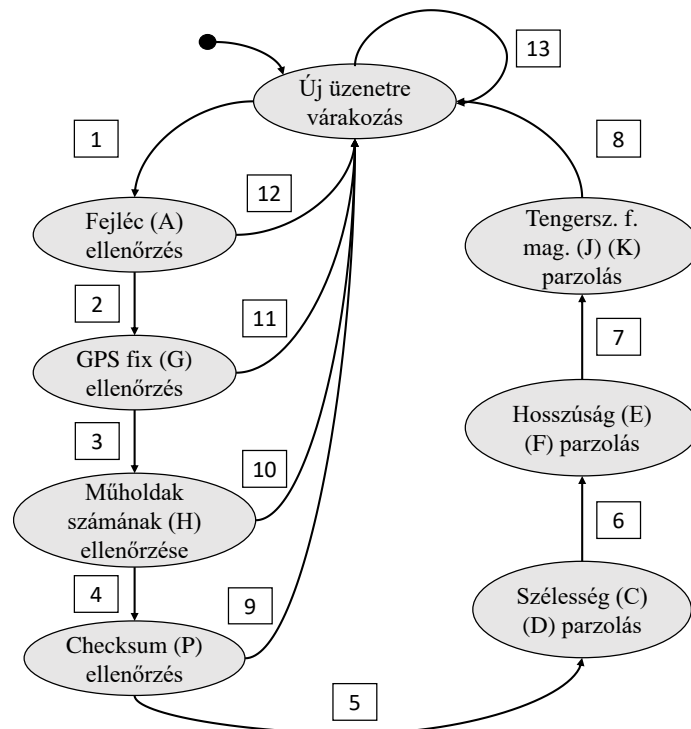
1. táblázat GGA típusú üzenet felépítése és az egyes mezők leírása (Készítette a szerző a [1] alapján)

Az implementált szoftver feldolgozás előtt minden beérkező mondatot megvizsgál több különböző szempont szerint, így megelőzi a felesleges számítások elvégzését hibás adatokkal és biztosítja a megbízható működést az automatizmus számára. Először az üzenetek fejlécét ellenőrzi. Csak az előzőekben részletesen bemutatott \$GPGGA fejlécű üzeneteket használja fel, az összes többit eldobja. Következő lépésként ellenőrzi a helymeghatározás módját a pozíció fix indikátor bájttal (G) segítségével. Ez alapján egyértelműen eldönthető, hogy, sikeresen megtudta-e határozni

<sup>9</sup> HDOP: Horizontal Dilution of Position - geometriai pontosság hígulás

<sup>10</sup> DGPS: Differential Global Positioning System – differenciális globális helymeghatározó rendszer.

a koordinátáit a GPS vevő, vagy sem. Amennyiben a mező értéke nulla, akkor túl kevés a „látható” műholdak száma tehát az üzenet helymeghatározásra használhatatlan, azzal további műveletet nem végez. Ha e mező értéke egy esetleg kettő, akkor a helymeghatározás minimum három-négy műhold alapján történt tehát annak minősége megfelelő lehet és az adatok vizsgálata folytatódhat. A következő minőségi jellemző a látható műholdak pontos száma (H), melyet vizsgál az algoritmus. A cél, hogy kiküszöbölje az ötnél kevesebb műhold alapján történő helymeghatározást és így biztosítsa a pontos, háromdimenziós helymeghatározással történt koordinátákkal való további műveletvégzést. Végül vizsgálja az üzenet utolsó mezőjét a checksumot (P) Ehhez egy függvény a vett üzenet végén található hexadecimális számot összehasonlítja az adott mondat tartalma alapján generált, saját ellenőrző összeggel. Egyezés esetén az üzenet helyesen ért célba. Ha ezek különböznek, akkor az adatok nem kerülnek felhasználásra. Ha a beérkezett mondat a fenti kritériumok mindegyikének megfelel, akkor jó eséllyel használható adatokkal dolgozhat tovább a szoftver. Egy következő függvény megkeresi a szélességet (C). Ezután a (D) adatmező alapján eldönti a visszatérési érték előjelét. Észak esetén pozitív, dél esetén pedig negatív előjelet kap a szélesség. Végül visszatér a szélességgel fokban, tizedes jegyekkel és a megfelelő előjellel. Ezután megkeresi az (E) adatmezőt, ami a hosszúságot tartalmazza. Azt hasonlóan átalakítja. Előjelét az (F) adatmező határozza meg. kelet esetén pozitív, nyugat esetén pedig negatív előjellel látja el. Végül visszatér a hosszúsággal. Az üzenet (J) adatmezője a tengerszint feletti magasságot, a (K) pedig annak mértékegységét tartalmazza mely meghatározása feltétlenül szükséges a célkövetési algoritmus megfelelő működéséhez. A referenciapont és a követendő cél tengerszint feletti magassága segítségével lehet meghatározni az antenna irányításához szükséges inklinációs szöveget. A fenti lépések elvégzése után kiküszöbölésre kerültek a hibás adatok és rendelkezésre állnak a további műveletek elvégzéséhez szükséges koordináták a hosszúság ( $\lambda$ ), szélesség ( $\varphi$ ) és magasság (h). Az algoritmus állapot átmenet diagramját a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra A GPS üzeneteket feldolgozó algoritmus állapot átmenet ábrája (Készítette a szerző)

ÉI	Állapot váltás feltétele
1	Új üzenet érkezett.
2	Az üzenet fejléce \$GPGGA.
3	A GPS fix (G) mező értéke nagyobb, mint nulla.
4	Helymeghatározáshoz használt műholdak száma (H) legalább öt.
5	A checksum értéke megfelelő. A beérkezett üzenet az összes kritériumnak megfelelt.
6	A szélesség parzolása megtörtént.
7	A hosszúság parzolása megtörtént.
8	A tengerszint feletti magasság parzolása megtörtént.
9	Az üzenet checksumja (P) és a generált checksum nem egyezik meg. Az üzenet hibás.
10	A helymeghatározáshoz használt műholdak száma (H) nem éri el az ötöt.
11	A GPS fix (G) mező értéke nulla. Nem sikerült a helymeghatározás.
12	Az üzenet fejléce nem \$GPGGA.
13	Nem érkezett új üzenet.

2. táblázat A GPS üzeneteket feldolgozó algoritmus állapot váltáshoz szükséges feltételei (Készítette a szerző)

## A GPS KOORDINÁTÁK FELDOLGOZÁSA

A beérkező GPS koordináták alapján közvetlenül nem számíthatók ki az antenna emeléséhez és elfordításához szükséges szögek. Az adott pozíciókat leíró hosszúságot, szélességet és tengerszint feletti magasságot egy lokális derékszögű koordinátarendszerbe kell transzformálni. Egy olyan érintősíkra, mely origójában az antennamozgató platform helyezkedik el és a későbbi számítások valamint vizsgálatok során sokkal szemléletesebb és praktikusabb. Léptéke jobban illeszkedik a mikro és mini UAV-khoz, mint egy Föld méretű, gömbi koordinátarendszeré. Ahhoz, hogy ezt a koordináta transzformációt el tudjuk végezni, be kell vezetni egy köztes koordinátarendszert. Így a feladat megoldásához a következő három koordináta rendszert kell ismerni és használni:

- WGS 84<sup>11</sup> geodéziai koordinátarendszer;
- ECEF<sup>12</sup> koordinátarendszer;
- ENU<sup>13</sup> koordinátarendszer.

A GPS koordinátákat első lépésként át kell transzformálni ECEF koordinátarendszerbe. Ezután tovább kell transzformálni egy az antenna GPS koordinátái által meghatározott origójú lokális ENU koordinátarendszerbe. Az ENU koordináták könnyebben kezelhetőek és értelmezésük egyszerűbb. A WGS 84 referencia ellipszoid egy egyezményes földi vonatkoztatási rendszer, ami definiálja a Föld normál alakját és normál erőterét. Az alkalmazás szempontjából fontos állandói a következők:

- egyenlítői sugár ( $R_{EA}$ );
- lapultság ( $f$ );
- poláris sugár ( $R_{EB}$ );
- első numerikus excentricitás ( $e$ ).

$$R_{EA} = 6378137 \text{ m} \quad (1) [3]$$

<sup>11</sup> WGS84 – World Geodetic System 84, GPS alapú helymeghatározás során használt referencia ellipszoid

<sup>12</sup> ECEF – Earth Centered Earth Fixed – Föld középpontú Földhöz rögzített koordinátarendszer

<sup>13</sup> ENU – East North Up – Kelet Észak Fel koordinátarendszer



$$f = \frac{1}{298.257223563} \quad (2) [3]$$

$$R_{EB} = R_{EA}(1 - f) = 6356752 \text{ m} \quad (3) [3]$$

$$e = \frac{\sqrt{R_{EA}^2 - R_{EB}^2}}{R_{EA}} = 0,08181919 \quad (4) [3]$$

A WGS84 geodéziai koordináta rendszerben egy pontot hosszúsági ( $\lambda$ ) és szélességi ( $\varphi$ ) fokokkal, illetve annak a tengerszint feletti magasságával ( $h$ ) tudunk egyértelműen meghatározni. A hosszúság a kezdő hosszúsági körtől, Greenwich-től mért forgásszög mely  $+180^\circ$  és  $-180^\circ$  tartományban változhat. A szélesség az egyenlítőtől mért szögelfordulás, ez  $+90^\circ$  (Északi-sark) és  $-90^\circ$  (Déli-sark) tartományon belül változhat. A magasság a helyi, függőlegesen mért távolság a referencia ellipszoidtól.

$$Pg = \begin{bmatrix} \lambda \\ \varphi \\ h \end{bmatrix} \quad (5) [3]$$

Az ECEF koordinátarendszer egy háromdimenziós derékszögű koordinátarendszer mely a Földdel együtt forog, annak forgási tengelye körül. Az origója a Föld középpontjában van elhelyezve. Z tengelye a Föld forgástengelye és az Északi-sark irányába mutat. Az X tengelye a Föld felszínét a kezdő hosszúsági kör és az Egyenlítő találkozásában metszi. Y tengelye pedig a jobbsodrás szabályának megfelelően lett kijelölve az előző tengelyek alapján. [1] Benne egy adott „P” pont helyvektorát az alábbi módon írhatjuk fel:

$$P_{ECEF} = \begin{bmatrix} X_{ECEF} \\ Y_{ECEF} \\ Z_{ECEF} \end{bmatrix} \quad (6) [3]$$

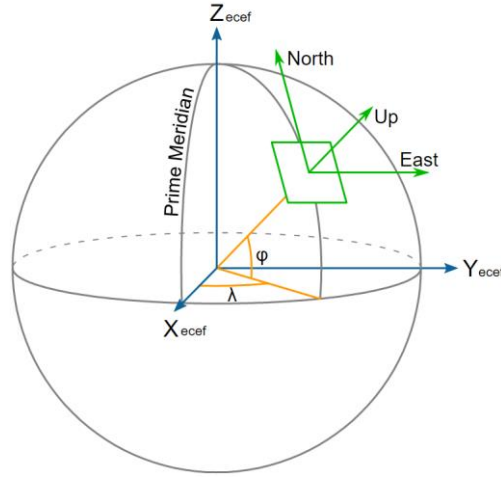
Az ENU koordinátarendszer egy helyi érintősíkon felvett háromdimenziós, jobbsodrású Cartesi koordinátarendszer. Tengelyei az észak, kelet illetve fel irányokba mutatnak. Az origóját pedig a célkövető antenna GPS koordinátái adják majd meg. Ez a fajta koordinátarendszer széles körben használt légi és földi navigációs célokra egyaránt, valamint egyéb földrajzi pozíció meghatározásokra is. Nagyon fontos koordinátarendszer kisméretű UAV-k navigációja során. Benne egy adott helyvektor a következőképpen adható meg: [3]

$$P_{ENU} = \begin{bmatrix} E \\ N \\ U \end{bmatrix} \quad (7) [3]$$

A kapcsolatot a három használt koordinátarendszer között az 5. ábra szemlélteti. Narancssárgával a GPS által használt szélességi és hosszúsági szögek. Kékkel az ECEF koordinátarendszer tengelyei vannak feltüntetve. Zölddel egy adott lokális érintősík és az ahhoz tartozó tengelyek láthatóak. A koordináták transzformációja csak egyirányú. A sorrend mindig WGS84, ECEF, ENU. Visszatranszformálásra nincs szükség.

A GPS koordináták által meghatározott helyvektor transzformálása az ECEF koordinátarendszerbe az első koordináta transzformáció melyet el kell végezni. Ezt a következő összefüggések alapján tehetjük meg, ha adott egy „P” pont a geodéziai koordinátarendszerben. A számítások

elvégezése után előállnak az  $X_{ECEF}$ ,  $Y_{ECEF}$ ,  $Z_{ECEF}$  koordináták melyekkel folytatni lehet a számításokat.



5. ábra A három használt koordináta-rendszer és egymáshoz képesti viszonyuk [4]

$$P_{ECEF} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_E + h) \cos\varphi \cos\lambda \\ (N_E + h) \cos\varphi \sin\lambda \\ [N_E(1 - e^2) + h] \sin\varphi \end{bmatrix} \quad (8) [3]$$

Az ECEF koordináták ENU koordináta-rendszerbe való transzformálásakor szükségünk van az előzőekben leírt transzformációs lépésekre és a geodéziai koordinátákra is mivel itt a két transzformációt együtt kell elvégezni az alábbi módon:

$$P_{ENU} = R_{ENU/ECEF} (P_{ECEF,P} - P_{ECEF,REF}) \quad (9) [5]$$

Ahol  $P_{ECEF, REF}$  a lokális ENU koordináta-rendszer origójának ECEF koordinátái a földi állomás és az antenna pozíciója, mely az ENU koordináta-rendszer origója ként szolgál a továbbiakban. A  $P_{ECEF}$  az irányított antenna által követendő cél, azaz az UAV koordinátái. Az  $R_{ENU/ECEF}$  egy forgatási mátrix ahol a  $\varphi_{REF}$  a lokális ENU koordináta-rendszer szélessége,  $\lambda_{REF}$  pedig a hosszúsága. Ezzel megszorozva az előző két mátrix különbségét megkapjuk a lokális ENU koordináta-rendszerben értendő ENU koordinátákat.

$$P_{ENU} = \begin{bmatrix} E \\ N \\ U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\lambda_{REF} & \cos\lambda_{REF} & 0 \\ -\sin\varphi_{REF}\cos\lambda_{REF} & -\sin\varphi_{REF}\sin\lambda_{REF} & \cos\varphi_{REF} \\ \cos\varphi_{REF}\cos\lambda_{REF} & \cos\varphi_{REF}\sin\lambda_{REF} & \sin\varphi_{REF} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{ECEF,P} - X_{ECEF,REF} \\ Y_{ECEF,P} - Y_{ECEF,REF} \\ Z_{ECEF,P} - Z_{ECEF,REF} \end{bmatrix} \quad (10) [5]$$

$$P_E = -(X_{ECEF,P} - X_{REF})\sin\lambda_{REF} + (Y_{ECEF,P} - Y_{REF})\cos\lambda_{REF} \quad (11)$$

$$P_N = -(X_{ECEF,P} - X_{REF})\sin\varphi_{REF}\cos\lambda_{REF} - (Y_{ECEF,P} - Y_{REF})\sin\varphi_{REF}\sin\lambda_{REF} + (Z_{ECEF,P} - Z_{REF})\cos\varphi_{REF} \quad (12)$$

$$P_U = (X_{ECEF,P} - X_{REF})\cos\varphi_{REF}\cos\lambda_{REF} + (Y_{ECEF,P} - Y_{REF})\cos\varphi_{REF}\sin\lambda_{REF} + (Z_{ECEF,P} - Z_{REF})\sin\varphi_{REF} \quad (13)$$

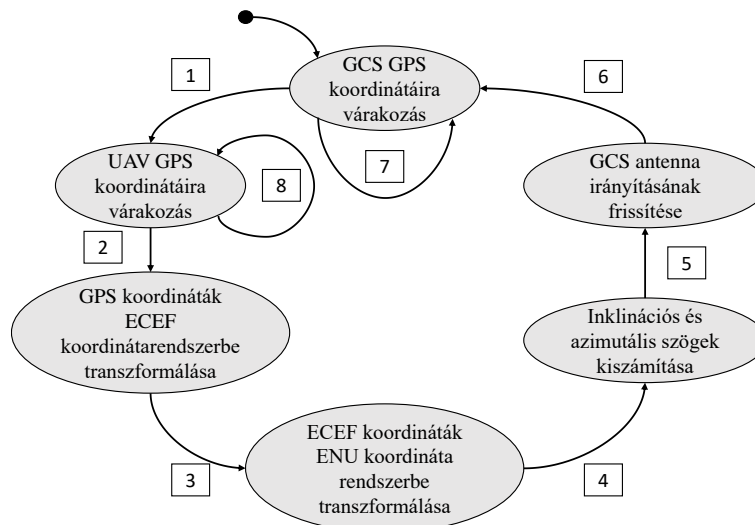
$$r = \sqrt{P_E^2 + P_N^2 + P_U^2} \quad (14)$$

$$\text{azimut} = \arctan\left(\frac{P_E}{P_N}\right) \quad (15)$$

$$\text{inklináció} = \arccos\left(\frac{P_U}{r}\right) \quad (16)$$

## AZ UAV KÖVETÉST MEGVALÓSÍTÓ ALGORITMUS BEMUTATÁSA ÉS TESZTELÉSE

Az elvégzett transzformációk után (11, 12, 13. egyenlet) a további számítások szögfüggvények segítségével már a derékszögű, háromdimenziós ENU koordináta-rendszerben elvégezhető (14, 15, 16. egyenlet). Az algoritmus kiszámítja az azimutális, azaz vízszintes síkban értendő, északról való elfordulást és inklinációs szögeket, valamint a követendő cél távolságát az origótól, vagyis a GCS-től. Az azimutális szöget három bemeneti paramétert alapján számolja. Ezek az E és N koordináták és egy ofszet. Az E és N koordináták tangensének inverze megadja az északról való elfordulást. Az ofszet az antennamozgató platform telepített helyzetének északról való eltéréseinek korrekciójára ad lehetőséget. A kiszámított szöget tovább kell vizsgálni, hogy az melyik térnegyedben értendő és annak megfelelően korrigálni, majd az ofszet hozzáadása után még egyszer meg kell vizsgálni az értéket. Ezzel biztosítva, hogy a visszatérési érték a használt aktuátorok (jelen esetben szervó motorok) működési tartományába esik. Jelenleg ez  $180^\circ$  mindkét szervó esetében. A következő meghatározandó szög, az antenna szükséges emelését adja meg a lokális koordináta-rendszer érintő síkjához (E-N sík) képest. Az E, N és U koordináták alapján az algoritmus kiszámítja a GCS és az UAV közti távolságot majd ebből és a tengerszint feletti magasságból meghatározza az inklinációs szöget és visszatér annak értékével. Utolsó lépésként e két szög kiküldésre kerül a szervó motorok számára, így azok az antennát a kívánt irányba állítják.



6. ábra A koordináta transzformációkat megvalósító algoritmus állapot átmenet ábrája [Készítette a szerző]

ÉI	Állapot váltás feltétele
1	A GCS GPS koordinátái referencia pontként elmentve.
2	Új beérkező UAV GPS koordináták.
3	A GPS koordináták transzformálása ECEF koordináta-rendszerbe megtörtént.
4	Az UAV koordinátái transzformálva a GCS origójú ENU koordináta-rendszerbe.
5	Az antenna irányításához szükséges inklinációs és azimutális szögek kiszámítása megtörtént.
6	Az antennát mozgató szervó motorok beállítsa frissült.
7	Nincs érvényes GCS GPS koordináta elmentve.
8	Nincs bejövő UAV GPS koordináta.

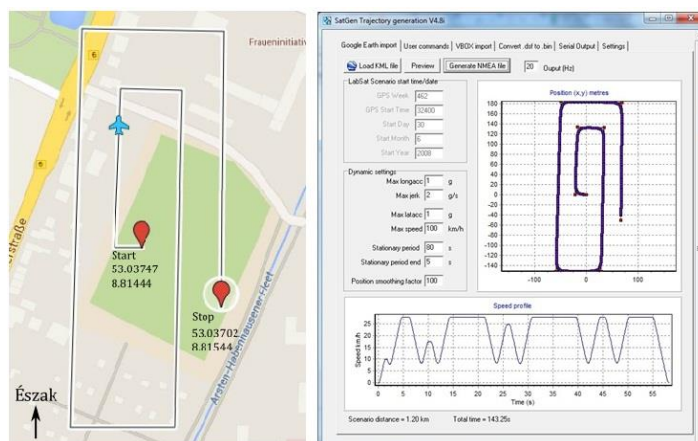
3. táblázat A koordináta transzformációkat megvalósító algoritmus állapot váltáshoz szükséges feltételei

[Készítette a szerző]

Az implementált algoritmust több különböző tesztnek vettem alá. Az első tesztfázisban ideális körülményeket alakítottam ki. GPS-t felhasználó alkalmazások tesztelése valódi GPS vevőkkel, valóságos környezeti körülmények között megismételhetetlen lenne. Az eredmények összehasonlíthatósága és azok alapján történő továbbfejlesztés érdekében a teszteléshez olyan idealizált bemeneti adatokat állítottam elő, amelyekkel a vizsgálatok megismételhetőek és kiszámíthatóak. Az első fázisában referenciaként Google Maps-en kijelölt útvonalak alapján generált, NMEA0183 szabványnak megfelelő GPS logokat használtam. Ezeket a SatGen Trajectory Generator szoftverrel<sup>14</sup> készítettem. A második tesztfázisban, miután megbizonyosodtam a helyes működésről, valódi GPS vevő által, valódi körülmények közt rögzített adatokkal végeztem tesztek.

### Teszt ideális körülmények között

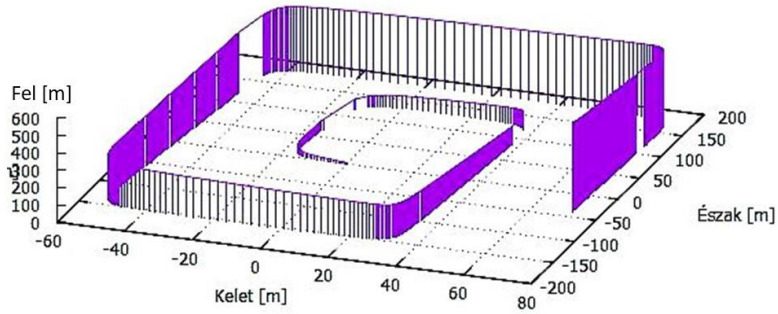
Az első tesztútvonalt során az UAV a 7. ábra közepén látható start pontból indul nyugat felé. Ez a start pont kerül rögzítésre referenciapontként, mint a földi állomás GPS koordinátái és ezek azok a koordináták melyek a későbbiekben az ENU koordinátarendszer origójaként fognak szolgálni. Ezután körülbelül 20 méter megtétele után észak felé veszi az irányt és 140 métert halad kissé észak-keletre, majd megint kelet felé fordul. Így halad tovább az óramutató járásával megegyezően spirálisan az antenna platform körül. Az utolsó koordináta a Stop feliratú pont. Az egyes pontok tengerszint feletti magasságai a kiindulási ponttól folyamatosan növekszik.



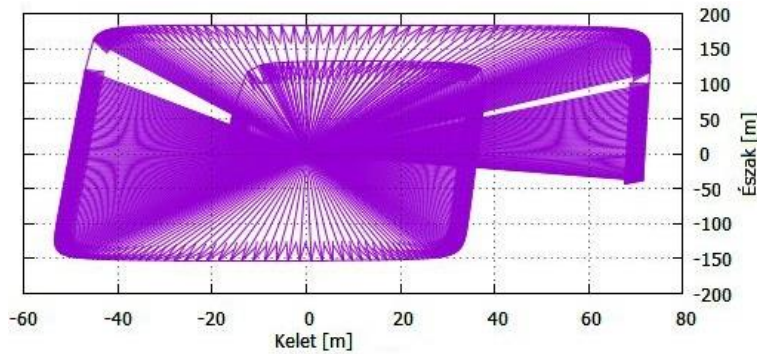
7. ábra Tesztútvonalt kijelölése és szabványos GPS log generálása [Készítette a szerző]

A generált adatokba több helyen szándékosan helyeztem el csoportosan jelentkező hibákat. Megváltoztattam egyes mondatok checksumját és adatmezőket töröltem ki, hogy az algoritmus hibafelismerő képességét is vizsgálni tudjam. A teszt eredményeit a 8. ábra szemlélteti. A 8. ábra alapján látszik, hogy a GPS adatokból a szükséges információkat a szoftver helyesen képes kinyerni. Mind a paroló, mind pedig az ellenőrző függvények megfelelően működnek. Az elhelyezett hibák hatása jól látható. A helyvektorok egyes helyeken hirtelen eltűnnek, majd újra megjelennek. Ebből látszik, hogy a hibás mondatok nem kerültek feldolgozásra. A referenciapont felvétele sikeresen megtörtént, az ENU koordinátarendszer origójában található. Az elvégzett koordináta transzformációk is megfelelően történtek meg mivel a leírt pálya megegyezik a felvett-tel.

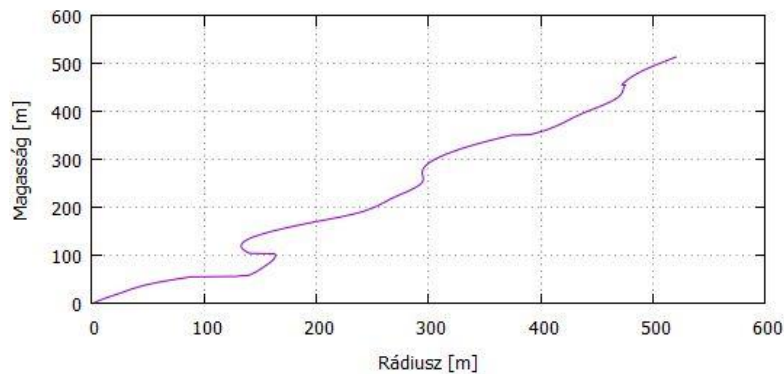
<sup>14</sup> <http://www.labsat.co.uk/index.php/en/products/satgen-simulator-software>



8. ábra Teszt generált bementi adatokkal, az UAV pályája ENU koordinátarendszerben [Készítette a szerző]

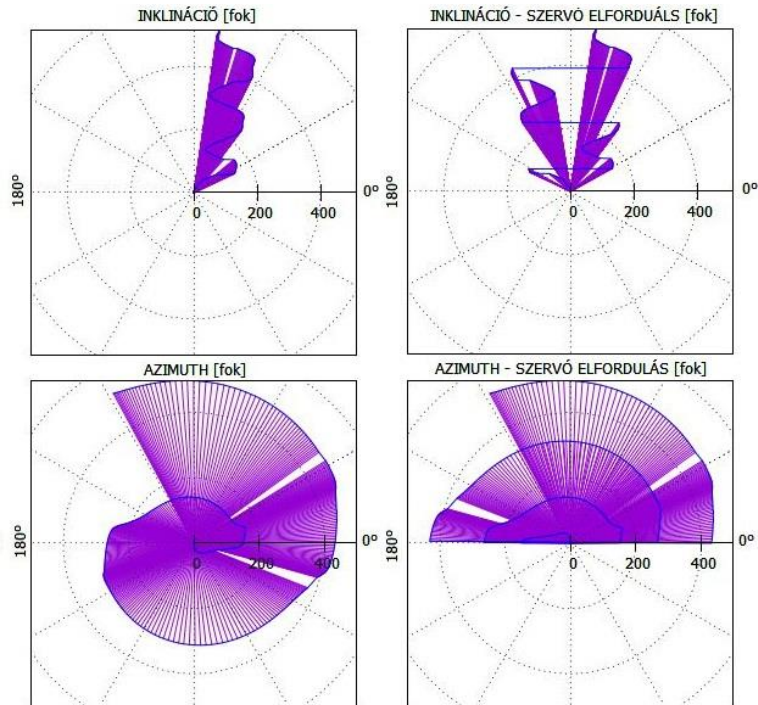


9. ábra Az antenna irányítását reprezentáló vektorok (ENU koordinátarendszer, azimutális sík). [készítette a szerző]



10. ábra Az UAV pillanatnyi tengerszint feletti magassága és a földi szegmenstől mért távolsága. Ez adja meg az inklinációs szervó adott időpillanathoz tartozó beállítási szögét. [Készítette a szerző]

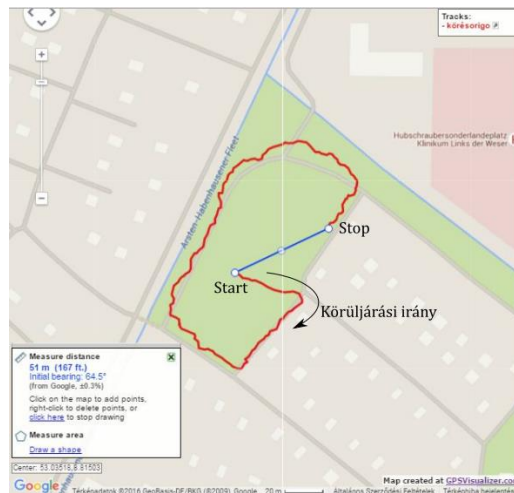
A következő poláris koordinátarendszerek (11. ábra) a kiküldött szervó elfordulásokat szemléltetik. A bal felső „inklináció” poláris diagram az antenna emelését vagy éppen süllyesztését szemlélteti egy olyan ideális esetben, amikor az azimutális síkban mozgó szervómotor végtelemszer képes körbefordulni (11. ábra bal alsó poláris diagram). A jobb oldali ábrák viszont egy valóságos, 180°-os működési tartományú szervó esetét mutatják. Látható, hogy a pálya leírása során az azimutális szervó, amint eléri működési tartományának szélső értékét, az átfordul az inklinációs szervóval együtt és onnantól a pályát középpontosan tükrözve követi (11. ábra jobb felső és jobb alsó poláris diagramjai).



11. ábra Teszt eredmények poláris koordinátarendszerben – Generált bementi adatok [Készítette a szerző]

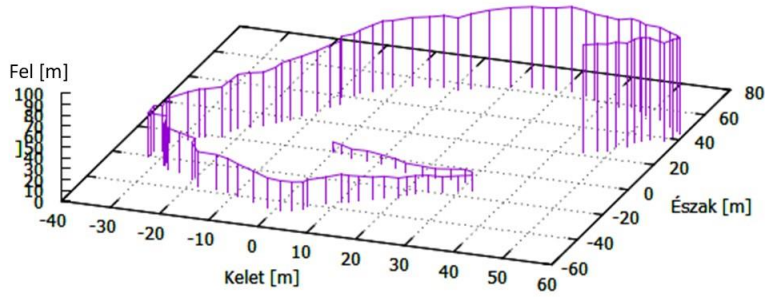
### Teszt valós körülmények között

A második tesztfázisban a GPS logokat a használt vevővel rögzítettem a „Start” pontból kiindulva a „Stop” pontig. Látható, hogy az útvonal már nem olyan szép, éles és határozott, mint az előbbieken. Ezekkel az adatokkal szintén teszteltem az antennamozgató algoritmust.

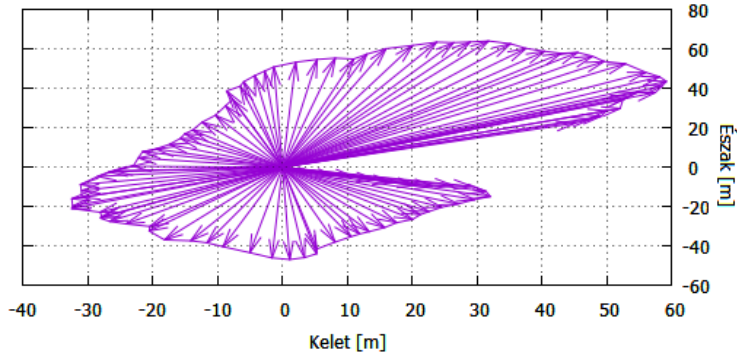


12. ábra A teszt során használt valóságos GPS log [Készítette a szerző]

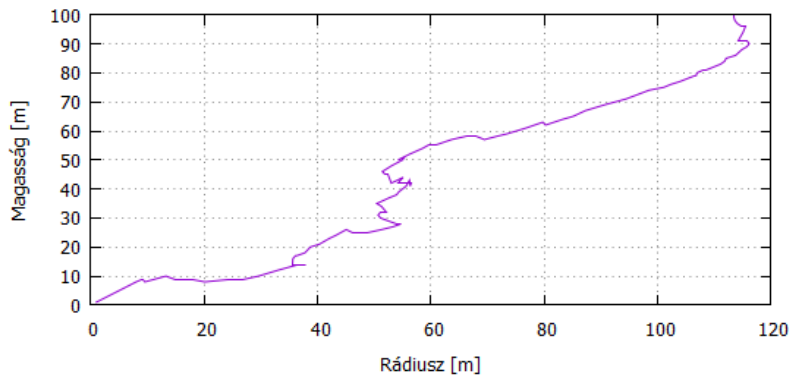
Valóságos adatokkal is a vártaknak megfelelő a működés. Ugyanúgy sikerült a szükséges adatok parzolása, ellenőrzése és a koordináták transzformálása is. Némileg ritkábban küld adatokat a valódi GPS vevő, mint a generálás során előállított tesztadatokat, ez a helyvektorok ritkulásán is látható.



13. ábra Teszt valós bementi adatokkal, az UAV pályája ENU koordinátarendszerben [Készítette a szerző]

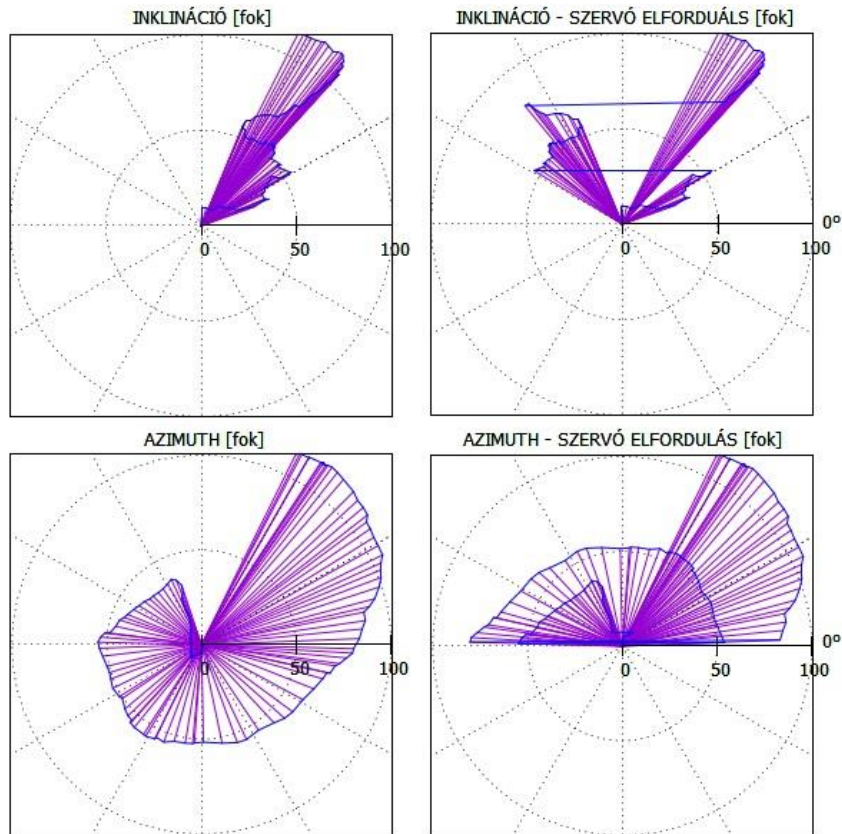


14. ábra Az antenna irányítását reprezentáló vektorok (ENU koordinátarendszer, azimutális sík). [Készítette a szerző]



15. ábra A követendő cél pillanatnyi tengerszint feletti magassága és földi szegmenstől vett távolsága. Ez adja meg az inklinációs szervó adott időpillanathoz tartozó beállítási szögét. [Készítette a szerző]

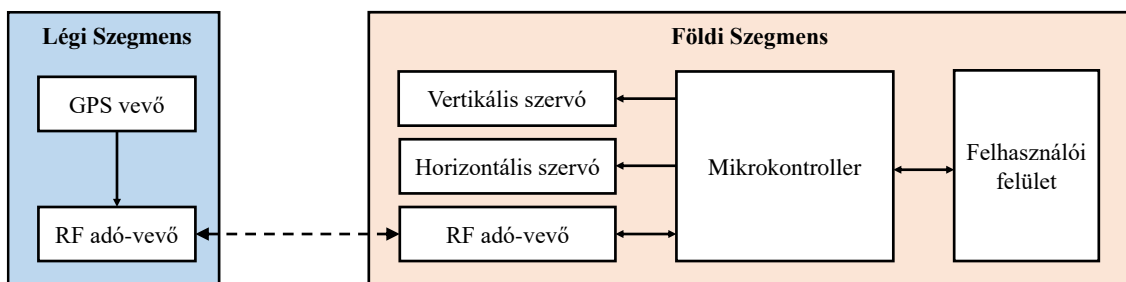
A 16. ábra szemlélteti az inklinációs és azimutális szervók elfordulását az előzőekben részletesen bemutatott 11. ábra hasonló módon. Látható, hogy valódi körülmények között rögzített bemeneti adatokkal is ugyanúgy működik az automatikus antennamozgató.



16. ábra Teszteredmények ábrázolása poláris koordinárendszerben – Valós körülmények között rögzített bemeneti adatok esetén [Készítette a szerző]

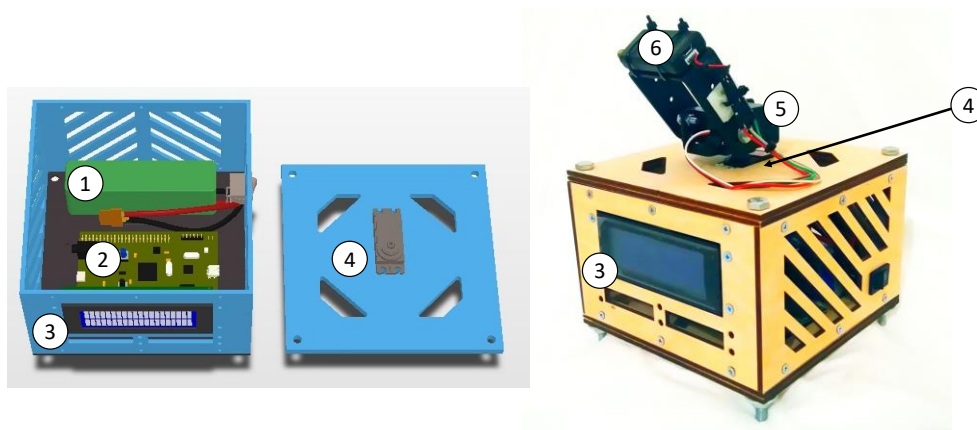
## AZ UAV KÖVETŐ ANTENNA PLATFORM HARDVERÉNEK MEGVALÓSÍTÁSA

Az UAV követést megvalósító automatikus antennamozgató felépítését szemlélteti a 17. ábra. Működés szempontjából két fő részre osztható a rendszer, egy légi és egy földi szegmensre. A légi szegmens az UAV fedélzetén található GPS vevőt és RF adó-vevőt foglalja magában. A földi szegmens öt fő részre bontható, szintén magában foglal egy az UAV-val való kommunikációra használt RF –adó-vevőt, az antenna mozgatásához szükséges szervó motorokat, a felhasználói felületet és egy mikrokontrollert, mely többek között az előzőekben bemutatott algoritmusokat futtatja. A tesztek és a további fejlesztések érdekében megterveztem és elkészítettem a földi szegmens prototípusát, mely 3D-s terveit és elkészített prototípust a 18. ábra szemléltet.



17. ábra Az automatikus UAV követő antenna platform elvi vázlatja [Készítette a szerző]





18. ábra Az antennamozgató 3D tervei (bal) és az elkészült prototípus (jobb) 1: akkumulátor, 2: mikrokontroller, 3: felhasználói felület, 4: horizontális szervó, 5: vertikális szervó, 6: RF adó-vevő [Készítette a szerző]

## ÖSSZEZÉS

A tanulmányban bemutattam egy UAV követő antennamozgató platform GPS alapú működési elvét, a fejlesztés fontosabb lépéseit az ötlettől az elkészült prototípusig. Ismertettem a főbb működtető algoritmusokat, GPS üzenetek feldolgozásának és kiértékelésének lehetséges módjait, valamint a szükséges koordináta transzformációkat. Ezeket implementálva különböző teszteknek vetettem alá. A tesztek során ideális és valós körülmények között is vizsgáltam az automatikus antennamozgató működését, mely eredményei bizonyítják a koncepció működőképességét. A bemutatott megoldás előnye, hogy az UAV fedélzetén megtalálható GPS vevőt és kommunikációs csatornát felhasználva működtethető, így az csak a földi szegmens oldalán igényel kiegészítéseket. Hátránya, hogy működése kizárólag GPS-en alapul, ebből kifolyólag erősen kitett az olyan szándékos vagy véletlen zavarásokkal szemben melyek hatására az UAV GPS koordinátái nem vagy csak hibásan határozhatóak meg. A GPS navigáció problémáira Wühl is felhívja a figyelmet a [6] tanulmányban. A módszer továbbfejlesztéseként kombinálható a bevezető részben említett RSSI alapú UAV követéssel. Ez a diverzifikáció növelheti a rendszer robusztusságát, megbízhatóságát és hibatűrését. Így az egyik megoldás kiesésekor a másik automatikusan átveheti annak szerepét a redundanciának köszönhetően.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Klaus Betke: The NMEA 0183 Protocol. 2001
- [2] NMEA Reference manual. SiRF Technology Inc, San Jose, California, 2007. url.: <https://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/NMEA%20Reference%20Manual-Rev2.1-Dec07.pdf>
- [3] Guowei Cai et. al.: Unmanned Rotor Craft Systems. Springer, London 2011 pp. 23-34. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-635-1>
- [4] Local Tangent Plane, Wikipedia The Free Encyclopedia, e-dok. url.: [https://en.wikipedia.org/wiki/Local\\_tangent\\_plane\\_coordinates](https://en.wikipedia.org/wiki/Local_tangent_plane_coordinates),
- [5] S.P.Drake: Converting GPS coordinates to navigational coordinates. DSTO Electronics and Surveillance Research Laboratory, Edinburgh Australia, 2002.
- [6] Wühl Tibor: GPS navigációs problémák UAV alkalmazásokban. Hadmérnök, Robothadviselés 6. tudományos szakmai konferencia különszám, 2006. url.: [http://hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviselés6/wuhrl\\_rw6.html](http://hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviselés6/wuhrl_rw6.html)

**IMPROVING COMMUNICATION EFFICIENCY BETWEEN UAV AND ITS GROUND SEGMENT**

*Using high gain, directional antennas in order to increase link range and quality is a widely used practice in microwave radio-frequency communication. The more directional the antenna is the more focused the electro-magnetic power will be. Hence continuous optical view between the antennas and precise antenna moving and aiming become a critical asset. This is no different in case of point-to-point microwave links between UAVs and their ground control stations. But the UAVs are in continuous movement and they are capable of executing rapid maneuvers. Therefore, a need arises for a device which can track automatically the UAV and point the ground station's antenna at it continuously. In this paper I present in detail a GPS based automatic UAV antenna tracker, which has been developed. I describe the necessary algorithms, and finally how it was tested both with generated and real life inputs.*

**Keywords:** UAV, automatic antenna tracker, ground station,

---

Huszár Péter  
doktorandusz hallgató  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Műszaki Doktori Iskola  
huszar.peter.92@gmail.com  
orcid.org/0000-0001-6169-3777

Péter Huszár  
PhD student  
National University of Public Service  
Faculty of Military Science and Officer Training  
Doctoral School of Military Engineering  
huszar.peter.92@gmail.com  
orcid.org/0000-0001-6169-3777

---



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/276/43>

Szarvas Dávid, Tichy Roland, Rohács Dániel

## MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ALKALMAZÁSA AZ AVIATIKÁBAN

DOI: 10.32560/rk.2019.1.15

*A mesterséges intelligencia és különböző területei, mint a gépi tanulás, vagy a mély tanulás az utóbbi évek során nagy átalakuláson mentek keresztül. Bár az alapelvek már több mint 60 éve léteznek, a világban manapság rendelkezésre álló hatalmas mennyiségű és könnyen elérhető adatmennyiség előmozdította az alkalmazásukat az élet szinte minden területén. Cikkünk első részében egy átfogó képet kívánunk adni a mesterséges intelligencia fogalmáról, működéséről és csoportosításáról, valamint ismertetjük azokat a világméretű trendeket, amelyek ennek a tudományterületnek formálják a jelenét és jövőjét. A második részben pedig a legfontosabb aviatikai alkalmazásokon keresztül (többek között a légiforgalmi irányítással és forgalmi előrejelzéssel kapcsolatos alkalmazások) mutatjuk be a technológiában rejlő lehetőségeket, valamint azok felhasználásának hosszabb távú elképzeléseit.*

**Kulcsszavak:** mesterséges intelligencia, gépi tanulás, előrejelzés, SESAR, ATM, adatelemzés

### BEVEZETÉS

Már magát az intelligenciát is elég bonyolult akár mérni, akár egyértelműen definiálni, mégis az embert folyamatosan foglalkoztatja annak minél mélyebb működése, megismerése. Mára viszont ott tartunk, hogy a mesterséges intelligencia (MI) vagy angolul Artificial Intelligence (AI) már teljesen a hétköznapiak részévé vált. Akár arra gondolunk, hogy kb. olyan gyakorisággal említik a médiában, mint Elon Muskot, akár arra, hogy tudunk nélkül is, de mára az életünk megkerülhetetlen része. Benne a van a telefonunk kamerájában, figyeli a fényképezési szokásainkat, hogy ezek alapján válasszon nekünk jobb beállításokat, a legnagyobb videomegosztó oldalon figyeli a preferenciáinkat, hogy ez alapján érje el, hogy minél több időt töltsünk el az adott platformon, személyi asszisztensként segíti a mindennapjainkat, vagy a közösségi oldalakon figyeli az érdeklődésünket. Akár az okostelefonunkat használjuk, az internetet böngésszük, on-line vásárolunk, navigációs rendszert használunk, a közösségi oldalakat nézzük, vagy streaming szolgáltatást használunk, legyen az zene vagy video, a mesterséges intelligencia befolyással van a döntési lehetőségeinkre [1].

### MI IS AZ A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA?

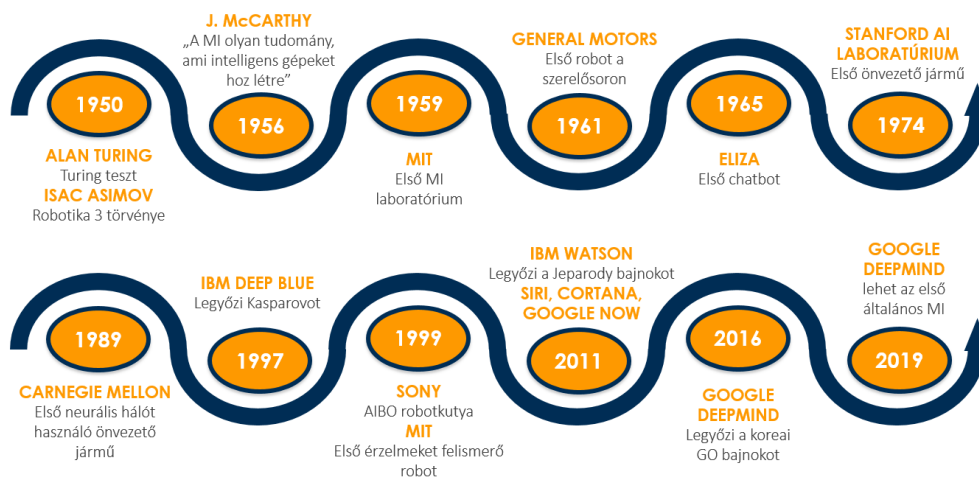
#### Definíció

A probléma, hogy még a szakma sem rendelkezik egyértelmű állásponttal, azzal kapcsolatban, hogy mi is tartozik a MI témakörébe és mi nem. Ennek okai a következők:

1. Mostanáig nem született egységes hivatalos definíció. Ahogyan fejlődik a terület, (1. ábra) úgy írják újra, módosítják a meghatározást. Közérthetően megfogalmazva: „menő dolgok, amit a számítógépek csinálnak”. A dolog ironiája, hogy épp az ellenkezője igaz. Vagyis a számítógépek nem számolással, hanem „intelligenciával” logikai kapcsolódások feltárását célozzák meg. Ugyanis, amint logikailag fel tudjuk építeni a feladat megoldását szimpla számítási kapacitás segítségével már el is veszi egy kicsit az intelligencia jellegét

és MI helyett inkább statisztikai vagy valószínűségyszámítási kihívássá válik. Ötven évvel ezelőtt az útvonaltervezés is MI-nek számított. Egy elfogadottabb definíció szerint a MI egy olyan számítógép, ami valamilyen módon utánozza az emberi viselkedést.

2. Ami egyszerűnek tűnik az valójában bonyolult és fordítva. Azt is bonyolult feltérképezni a kutatók számára, hogy az MI számára mely feladatok egyszerűek és melyek nehezek (mert egy embert többnyire a feladatok elvégzése alapján ítélünk intelligensnek). Például ha azt a feladatot kapjuk, hogy vegyük fel az első tárgyat, ami kezünk ügyébe akad, az nekünk nem jelent nehézséget, de gondoljuk csak végig mi is zajlott le pontosan. Használtuk a szemünket, amivel beazonosítottuk a tárgyat, annak alakját és tömegét, eldöntöttük melyik kezünkkel emeljük meg a tárgyat, milyen úton érjük el, milyen erősséggel fogjuk az ujjaink közé. Ellenben például a sakkot egy bonyolult játéknak tartjuk, viszont a mesterséges intelligencia számára csak egyszerű számítási feladat.



1. ábra A MI fejlődésének mérföldkövei [2]

Fontos, hogy megértsük, hogy az intelligencia nem egy egy dimenziós változó, mint például az IQ mellyel az embereket lehet intelligenciaszint alapján rangsorolni. Vajon tudnánk egy változóval rangsorolni az MI-t? Egy sakk algoritmus intelligensebb egy spamszűrőnél, egy zeneajánló rendszerénél vagy egy önvezető autónál? Egyértelműen nem, általában ezért beszélünk szűk mesterséges intelligenciáról (ANI<sup>1</sup>) ami képes megoldást adni egy adott típusú problémára, de tehetetlen egy másik problémával szemben. Mivel nincs egyértelmű, jól körülhatárolható definíció, így a MI mindenkinek egy kicsit mást jelent. Néhány embernek egy olyan életforma, ami túlszárnyalja az emberi intelligenciát, mások szinte minden adatfeldolgozó technológiát MI-nek hívnak [3] [4].

## A MI csoportosítása

A tudományterület kiforratlansága miatt sokan sokféle csoportosítási lehetőséget felvázoltak már. Az alábbiakban két lehetséges csoportosítást mutatunk be:

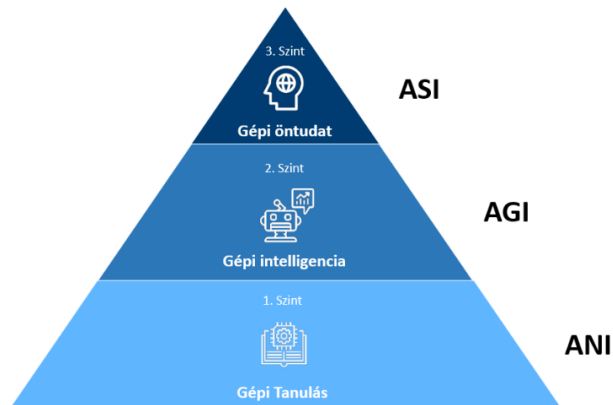
### Az intelligencia fejlettsége szerint (2. ábra):

1. Szűk mesterséges intelligencia (ANI): csak egy szűk problémára és annak megoldására fókuszál előre definiált keretrendszer alapján. Tipikusan repetitív feladatok elvégzésére alkalmas és ezeken a területeken jobban is teljesít, mint az ember. Szinte minden MI

<sup>1</sup> ANI – Artificial Narrow Intelligence – Szűk mesterséges intelligencia

algoritmus, amit ma ismerünk, ebbe a kategóriába tartozik. Ez az a terület, ami az elmúlt időszakban ugrásszerűen fejlődött.

2. Általános mesterséges intelligencia (AGI<sup>2</sup>): „gondolkodó” MI, ami tanul a múltbeli tapasztalataiból és azok alapján hoz döntéseket.
3. Mesterséges szuperintelligencia (ASI<sup>3</sup>): ettől szinttől még messze vagyunk, de a koncepció egy olyan MI létrehozása, aminek a kognitív képességei az embernél fejlettebbek.



2. ábra A MI fejlettségi szintjei [5]

#### Funkcionalitás szerint:

1. Reaktív gépek: a MI egyik alapvető formája, amely nem rendelkezik memóriával és nem tud múltbeli eseményekre támaszkodni. Például ilyen az IBM DeepBlue ami a sakkasztalát „látja” és reagál rá, de nem képes fejlődni.
2. Limitált memória: képes múltbeli események alapján döntést hozni. Többek közt az önvezető járműveknél használják. A döntéshez szükség van közelben lévő járművek helyzetére, sebességére, távolságukra. Ám a forgalmi helyzet elmúlásával, ezek a megfigyelések hosszútávon nem tárolódnak.
3. Tudatelmélet (Theory of Mind): képes megérteni az ember érzelmeit, elképzeléseit és szociális interakcióba lépni.
4. Öntudat (Self-awareness): az MI teljes öntudattal, érzelmekkel rendelkezik. Egyszóval egy emberi lény. Természetesen ilyen MI nem létezik, de ez következő feltételezett mérföldkő [6] [7] [8].

#### A mesterséges intelligencia megvalósítása

A továbbiakban, ebben a cikkben a mesterséges intelligenciára, a már említett definíciót használjuk, miszerint a MI egy olyan számítógép, ami valamilyen módon utánozza az emberi viselkedést. Ezt az utánzást többféleképpen lehetséges megvalósítani (3. ábra).

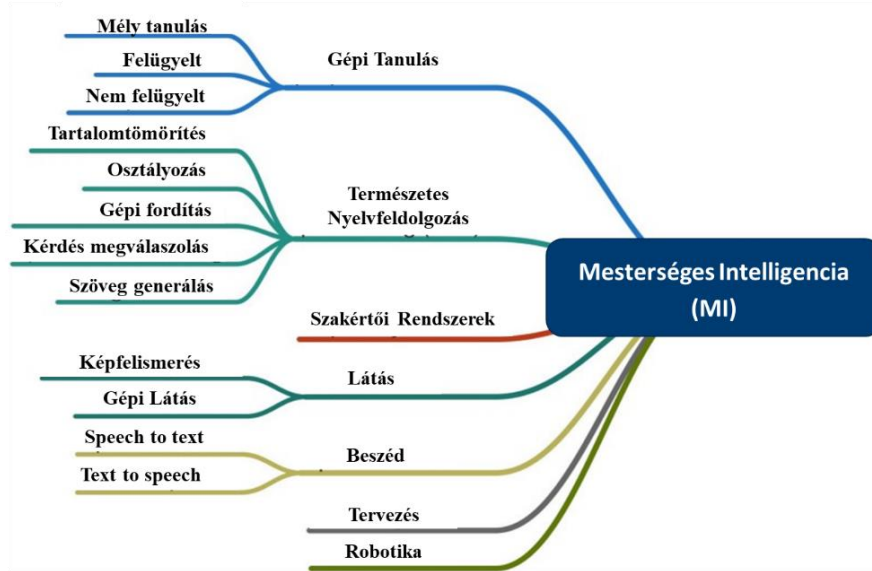
1. Gépi tanulás (ML<sup>4</sup>): ennél a típusnál a cél előre meghatározott és az ahhoz szükséges lépésekre a gépnek folyamatos tanulás folyamán kell rájönnie. Ez azt jelenti, hogy a számítógépek olyan feladatokat hajtanak végre, amikre nem explicit lettek programozva. Az elv lehetővé teszi, hogy a számítógépes rendszerek „tapasztalatokat szerez-

<sup>2</sup> AGI – Artificial General Intelligence – Általános mesterséges intelligencia

<sup>3</sup> ASI – Artificial Super Intelligence – Mesterséges szuperintelligencia

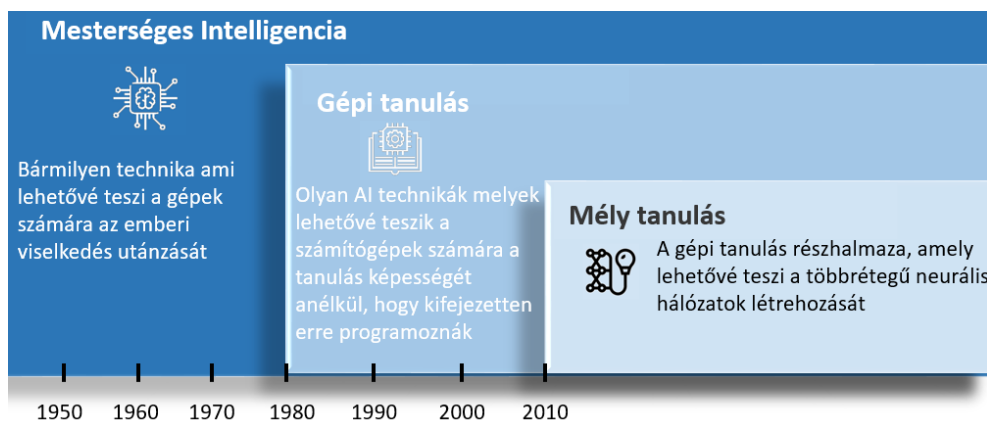
<sup>4</sup> ML – Machine Learning – Gépi tanulás

zenek” ezzel egyidejűleg javuljanak és hatékonyabban elvégezzék a rájuk bízott feladatot. Például ahhoz, hogy egy gép felismerje, hogy egy adott képen alma vagy narancs látható nem kell egy alma vagy egy narancs definícióját konkrétan megadnunk, hanem – mint egy gyerek esetében – elég több (általában több millió) különböző képet mutatunk almákról és narancsokról. A mély tanulás (DL<sup>5</sup>) a gépi tanulás részhalmaza, ami elérhetővé teszi a számítógépek számára a mélyebb problémák megoldását is. (a „mélység” a matematikai modell komplexitására utal). A gépi tanulás és mély tanulás MI-hez való kapcsolódását és időbeni fejlődését jól szemlélteti a 4. ábra [9] [10] [11] [12].



3. ábra A MI létrehozásának lehetséges módjai [6]

1. Nyelvfelismerés (NLP<sup>6</sup>): akár írott, akár beszélt szöveg alapján. Például így vannak megvalósítva a spamszűrők.
2. Gépi látás: a gép a kamera képét digitalizálja, annak segítségével „lát” és elemez. Egyaránt alkalmazható mozgó és állóképre is.



4. ábra A mesterséges intelligencia, a gépi tanulás és a mély tanulás kapcsolata [12]

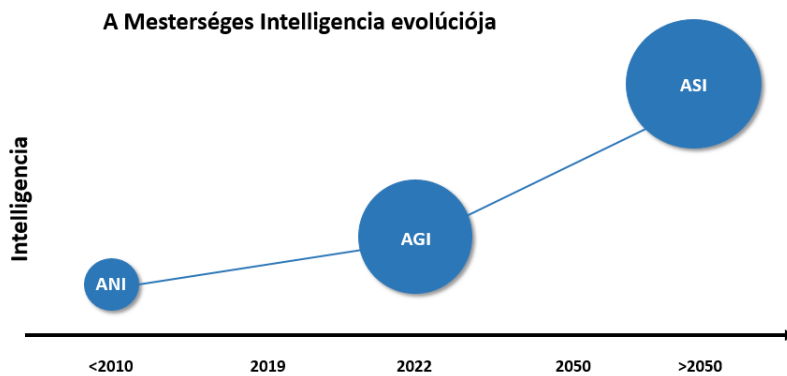
<sup>5</sup> DL – Deep Learning – Mély tanulás

<sup>6</sup> NLP – Natural Language Processing – Nyelvfelismerés

3. Robotika: ez a terület a robotgyártásra fókuszál, de a skála nagyon széles, az „egyszerű” járműösszeszerelő robottól egészen az emberi interakcióra képes robotokig tart. Általában olyan feladatokra használjuk, amelyek túl fárasztók, vagy túl monotonok lennének az ember számára.
4. Önvezető járművek: mostanában ez a terület kapja a legkiemeltebb figyelmet, mivel több területen is ugrásszerű a fejlődés az autóktól, buszoktól a hajókon át a drónokig, amelyekre a későbbiekben még kitérünk [5] [6].

### Mesterséges intelligencia trendek a világban

Általánosságban, napjainkban még az ANI korát éljük, amely intelligencia ugyan sok részterületen messze felülmúlja az ember határait, mégis csak apró részfeladatokra képes fókuszálni. A jövőben azonban megjelenhet az AGI, ami már az emberhez hasonló intelligenciával rendelkezik. Egyesek szerint a Google DeepMind már megfelel ennek a kritériumnak, mások szerint örülhetünk, ha még a mi életünkben sikerül megalkotni az első általános mesterséges intelligenciát. Az ezt követő lépés az ASI, ami minden területen felülmúlja az ember szellemi képességeit (5. ábra) [13].

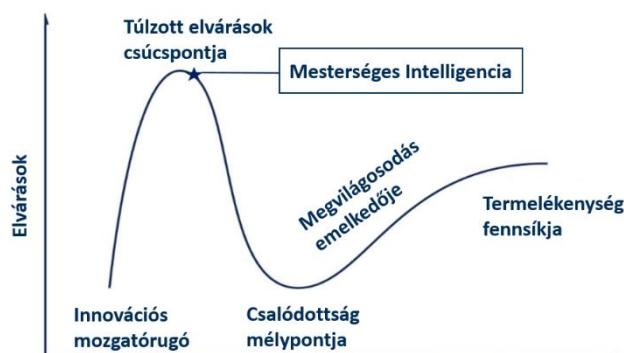


5. ábra A mesterséges intelligencia képességeinek várható fejlődése [14]

A 6. ábrából kiderül, hogy a ma ismert ANI, bár a piaci penetrációja még csak 4%, mégis most ér a csalódottság fázisába. Ez alapján akár megtorpanás is várható mindaddig, amíg a felhasználók (főleg vállalatok) meg nem találják, hogy pontosan hogyan is teheti hatékonyabbá működésüket a mesterséges intelligencia. A Gartner nemzetközileg elismert kutatócég legfrissebb (2018) elemzéseiből kiderül, hogy a Deep Learning szélesebb körben történő elterjedéséhez még legalább 2–5 évre van szükség. A tanulmányból az is kiderül, hogy az elkövetkező 10 évet is a MI technológiák fogják uralni [15].

Szintén a Gartner kutatói szerint a közeljövő legnagyobb fejlődése az AGI, tehát általános – emberhez hasonló – intelligenciával rendelkező MI megjelenése. Érdekesség, hogy a teljes mértékben önvezető – akár ember szállítására is alkalmas – légitjárművek<sup>7</sup> integrálása számos esetben egy könnyebben megoldható kihívás, mint a valóban (akár kormány nélküli) önvezető autó, mert a közútnál sokkal kontrolláltabb a közeg, kevesebb a változó és könnyebben függetlenné lehet tenni az embertől. Természetesen ez óriási szabályozási és társadalmi kihívásokat jelent a jövőben (hova telepíthetünk helikopter fel- és leszállóhelyeket, hogy kerüljük el az ütközéseket). Mégis, a Gartner már 2018 egyik legfejleődőbb techológiai közé sorolja a repülő önvezető járműveket [14] [16].

<sup>7</sup> Urban Air Mobility – Városi légi mobilitás



6. ábra A mesterséges intelligencia a Gartner Hype Cycle ábráján [15]

## AVIATIKAI ALKALMAZÁSOK

A MI alkalmazása az elmúlt 15 évben a repülésben is gyors fejlődésnek indult. Ennek alapvetően, a bemutatott trendeken túl, az óvatos becslések mellett is 2037-re megduplázódó légit forgalom okozta kihívások a fő mozgatórugói [17]. A következőkben bemutatott példákon keresztül, fókuszba állítva az európai légiközlekedést, ezen fejlődés eredményeit, kutatási irányait és jövőbeni alkalmazási lehetőségeit foglaljuk össze.

Az európai kutatások túlnyomó része a SESAR<sup>8</sup> JU<sup>9</sup> szárnyai alatt valósul meg, amely összefogja az európai légiközlekedési szereplők kutatási és innovációs tevékenységeit, valamint EU források biztosítása útján segíti azok megvalósulását. A SESAR projektek két fő általános célja a repülési teljesítménymutatók javítása és a légiforgalmi irányítás (ATM<sup>10</sup>) modernizálása a legújabb technológiák és egy nagyfokú digitalizálás bevezetésével. A négy ilyen repülési KPA<sup>11</sup> a biztonság, a hatékonyság, a kapacitás és a környezeti hatások [18]. A mesterséges intelligenciát használó új megoldások és alkalmazott kutatási irányok is ezek javítására irányulnak.

### Forgalmi előrejelzéssel kapcsolatos alkalmazások

A mesterséges intelligencia egyik nagy területe, a gépi tanulás a repülésben is lehetővé teszi olyan előrejelzések készítését, amit korábban analitikus módon nem lehetett volna felállítani. A gépi tanuló algoritmusokat a repülésben vagy légiforgalmi irányításban nap, mint nap keletkező hatalmas mennyiségű adaton alkalmazva olyan összefüggések is láthatóvá válnak, amik korábban azok összetettsége miatt nem voltak sejthetők, vagy, ha sejthetők is voltak, pontos előrejelzéseket az összefüggések matematikai leírása nélkül nem lehetett tenni.

A forgalom előrejelezhetőségének a fontossága az európai légtérben különösen kritikus, hiszen az ellenőrzött légtérben az egyes szektorok kapacitása és a bennük jelentkező repülési igények már a mostani forgalom mellett sincsenek gyakran egyensúlyban és a kapacitást meghaladó igények késéseket eredményeznek. A jelenlegi, egyes területeken súlyosnak mondható kapaci-

<sup>8</sup> SESAR – Single European Sky ATM Research – Egységes Európai Égbolt technológiai pillére

<sup>9</sup> SESAR JU – SESAR Joint Undertaking – SESEAR és nem tag szervezetek közös vállalkozása

<sup>10</sup> ATM – Air Traffic Management – Légiforgalmi irányítás

<sup>11</sup> KPA – Key Performance Areas – Kulcs teljesítménymutató területek



tásproblémák rövid távú megoldása nem valószínű, ráadásul minden szereplő forgalomnövekedéssel számol, ezért a megfelelő forgalomszervezés (ATFCM<sup>12</sup>) kulcsfontosságú feladat. E tevékenység célja, hogy az egyes szektorokban, illetve reptereken lévő irányítási kapacitás és a repülési igények közötti egyensúlyt biztosítsa, vagy, ha az igények túllépik a kapacitásokat, a forgalomáramlást úgy optimalizálja (például résidők osztásával az induló repülőtéren), hogy a járatok által érintett egyik szektorban se lépje túl a forgalom az adott szektor kapacitását. A feladathoz az egyes szektorok kapacitásait és a repülési igényeket (vagyis a repülési terveket) kell ismerni. Az európai légiforgalom áramlásszervezését végző EUROCONTROL NMOC<sup>13</sup> egysége négy tervezési fázisra osztja tevékenységét [19]:

- ➔ stratégiai tervezés (több mint 7 nappal az üzemelés előtt): Ebben a fázisban az egyes ANSP<sup>14</sup>-k számára előrejelzik a várható igényeket, amelyhez számításba veszik az elérhető útvonalakat, illetve az esetleges egyéb légtérhasználatot is (katonai tevékenységek, korlátozott légterek ...);
- ➔ pre-taktikai tervezés: (1 - 6 nappal az üzemelés előtt): A stratégiai tervezés finomhangolásával napi terveket készítenek, amelyek kimenete az Európai Légtérhasználati Terv (EAUP<sup>15</sup>) és frissítései (EUUP<sup>16</sup>) benne az aktuálisan használható és nem használható légterekkel és útvonalakkal;
- ➔ taktikai tervezés (az üzemelés napján): A NMOC valós időben értékeli a napi terveket, és beavatkozik szükség szerint (például különleges időjárás helyzet, földi vagy légtérbeli elemek kiesése, pontosított repülési tervek miatt);
- ➔ üzemelés utáni elemzések: ezek a tevékenységek a historikus adatokat felhasználva segítenek a jövőbeni tervezések finomításában.

Látható tehát, hogy az áramlásszervezési tevékenységek támogatására a forgalmi előrejelzéseknek a repülés minden fázisában szerepe van és minél pontosabb egy ilyen előrejelzés, annál eredményesebb intézkedéseket tehet az áramlásszervező a forgalom zavartalan biztosítására. A pontos előrejelzéseket pedig az olyan gépi tanuló algoritmusok szolgáltatják, amelyek nagyon sok adat vizsgálatával függvénykapcsolatot hoznak létre az input adatok és az előrejelzeni kívánt tényezők között.

### *Trajektória előrejelzési lehetőségek*

Az egyik legtöbbet és legrégebben kutatott terület a témában a taktikai szintű tervezéshez kapcsolódik, vagyis a repülésnek ahhoz a fázisához, amikor a repülőgép már a levegőben van. A felderítési infrastruktúra elemei által szolgáltatott nagy mennyiségű adatok visszamenőleges elemzéséből, a lerepült trajektóriák jellemzőiből a gépi tanuló algoritmusok által felépített modellek számos időbeli előrejelzést tudnak készíteni a repülőgép mozgásjellemzőit illetően. Ezek segítségével az egyes szektorok kapacitásproblémái már korai fázisban felismerhetők és kezeljük is egyszerűbb. A másik felhasználása ezen előrejelzéseknek pedig az ATM rendszerek alapvető eszköztárához kapcsolódik, ami nélkül a mai légiforgalmi irányítás már nem is képzelhető el hatékony módon. A légiforgalmi irányítók számos hasznos előrejelző funkciót használhatnak a radarerőn, amelyek működésének alapjai szintén a trajektória-előrejelzéseken nyugszanak.

---

<sup>12</sup> ATFCM – Air Traffic Flow and Capacity Management – Légiforgalmi áramlásszervezés

<sup>13</sup> NMOC – Network Management Operation Centre – Network Management Műveleti Központ

<sup>14</sup> ANSP – Air Navigation Service Provider – Légiforgalmi Szolgálat

<sup>15</sup> EAUP – European Airspace Use Plan – Európai Légtérhasználati Terv

<sup>16</sup> EUUP – European Updated Airspace Use Plan – Frissített Európai Légtérhasználati Terv

A gépi tanulásnak azért van létjogosultsága ezen a területen, mert az egyszerűen és explicit módon számítható, egyenletekkel leírható dinamikai modellekhez – amelyek a legpontosabb képet adnák a repülőgép mozgásállapotának előrejelzéséhez – nem áll rendelkezésre elegendő és elég pontos adat a földi számításokhoz. A legtöbb hagyományos trajektória előrejelzés által használt tömegpont modell (ahol a repülőgép egy kiterjedés nélküli tömeggel rendelkező pontnak tekinthető, amelyre erők hatnak) ugyanis számos mozgásegyenlet útján kiszámítja a repülőgép pozícióját egy megadott időpontban, de ehhez ismerni kell a kezdeti mozgásjellemzőket (tömeg, tolóerő, pozíció, sebesség), a légköri állapotokat (szél, hőmérséklet) és a repülőgép megkívánt működtetési jellemzőit (sebesség és gyorsulás profil, cost-index, hajtómű-beállítások). Nem arról van szó tehát, hogy Newton klaszikus mechanikai törvényeivel ne lehetne pontos előrejelzéseket tenni egy repülőgép mozgásáról (emelkedéséről, gyorsulásáról, a repülési trajektória időbeli lefolyásáról), hanem arról, hogy az ehhez szükséges adatoknak csak nagyon korlátozott száma (leggyakrabban: sebesség, magasság, földrajzi pozíció) áll rendelkezésre a földön a számításokhoz. Nem ismerjük például az aktuális szelet, a repülőgép üzemeltetésének jellemzőit, a hajtóművek működési állapotait, a légijármű tömegét, hogy csak néhányat említsünk a hiányzó tényezők közül. Természetesen a fedélzeten ezek rendelkezésre állnak, és a robotpilóta is ebből számítja ki a szükséges manővereket, de a földön a nagy részük nem elérhető, vagy nem elég pontos. A repülőgép tömege, a hajtóműbeállítások, a sebességprofilok például érzékeny adatok az üzemeltetők részéről és nem kerülnek lesugárzásra a földi egységekhez, a radaradatok és időjárás információk nem pontosak. Nem állítjuk, hogy ez az állapot nem változik meg a közeljövőben, de addig is, a múltbeli adatokból „betanított” mesterséges intelligencia reális alternatívát jelent megbízható előrejelzések készítéséhez. Annál is inkább, mert még ha rendelkezésünkre állnának is a legpontosabb adatok a számítások elvégzéséhez, nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt a tényt sem, hogy egy sztochasztikus folyamatot nem tudunk hiba nélkül determinisztikus megközelítésben vizsgálni. A repülési trajektória ugyanis folyamatosan véletlenszerű behatásoknak van kitéve, így sztochasztikus problémáról beszélhetünk. A mesterséges intelligencia (big data elemzések, gépi tanulási algoritmusok) pont az ilyen helyzetekre kínál megoldást, mert csupán az adatokban fellelhető mintákra összpontosít, ezáltal figyelembe tud venni olyan tényezőket is egy adott rendszer működését illetően, amelyek létéről lehetséges, hogy nincs is tudomásunk.

A trajektória előrejelzések fejlesztésének középpontjában a vertikális profil minél pontosabb meghatározása játsza a kulcsszerepet, hiszen horizontálisan a mai navigációs technológiák mellett a repülőgépek nagy pontossággal le tudják követni az útvonalukat. Légijárművek repülésének vertikális profilját már 1999-ben sikerült neurális hálók segítségével előrejelezni. Allioit és Fablec munkájukban alátámasztották, hogy a neuronháló alapú paraméterezett modellezés pontosabb előrejelzésekre volt képes, mint az addig általánosan használt nem parametrikus, repülőgéptípus jellemzőket felhasználó modellek. Munkájuk azért is figyelemre méltó, mert csupán két bemenő változó felhasználásával dolgoztak: a repülőgép típusával és a kért repülési szinttel (RFL<sup>17</sup>). A historikus adatok alapján betanított modelljük képes előrejelezni géptípusonként a vertikális repülési profilt repülés közben (a már lerepült trajektória adatait felhasználva) és repülés előtt is [20].

A Toulouse-i ENAC<sup>18</sup> kutatói 2013-ban különböző regressziós módszerekkel kaptak hasonlóan biztató eredményeket az adat alapú trajektória előrejelzéseket illetően. Ellentétben a korábbi próbálkozással, itt már 76 különböző input változót vettek számításba az előrejelzések leírására.

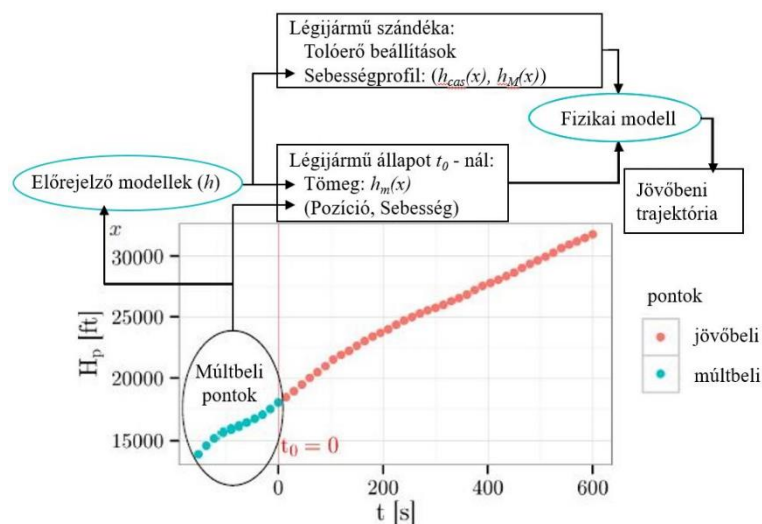
---

<sup>17</sup> RFL – Requested Flight Level – Kérelmezett reülési szint

<sup>18</sup> ENAC – École Nationale de l'Aviation Civile

Az eredmények jól mutatják, hogy ilyen nagyszámú változó figyelembevétel esetén miért célszerű megoldás a gépi tanuló algoritmusokat segítségül hívni egy ilyen összetettségű probléma megoldásához [21].

Hasonlóan jó eredményeket hozott több elmúlt évekbeli kutatás és doktori értekezés is, amelyek szintén különböző gépi tanulási modelleket felhasználva készítettek trajektória előrejelzéseket [22] [23] [24]. Mindegyikben az a közös, hogy a fizikai modellt elrejtve, mintegy „fekete dobozként” tekint a trajektóriát meghatározó összetevőkre és az előrejelzést egy lépésben, közvetlenül a repülőgép múltbeli pozíciójának lefolyásából készíti el. Ezzel szemben Alligier és társainak legújabb megközelítésében (7. ábra) a fizikai modell számítja ki a jósolt pozíció adatokat, a mesterséges intelligencia csupán az ehhez szükséges inputokat szolgáltatja, vagyis azokat az ismeretlen változókat, amelyek elengedhetetlenek a fizikai modell számára [25] [26]. Kutatásukban múltbeli minták felhasználásával felépített modelljük 9 repülőgéptípus esetében „jósolja” a tömeg és sebességprofil adatokat a már lerepült trajektória alapján és ezek rendelkezésre állásával már számíthatják klasszikus fizikai modell szerint a várható trajektóriát 10 percre előre. Érdekesség, hogy az így kapott előrejelzés sebesség- és magassághibája minimum 36%-kal volt alacsonyabb, mint a modellezésekhez általánosan használt BADA<sup>19</sup> repülőgép adatbázis referencia tömeg és sebesség adataiból számított előrejelzés esetén.



7. ábra Vertikális profil előrejelzési modell megvalósítási lehetősége [26]

A téma fontosságát az is mutatja, hogy SESAR projekt keretében is indult egy nagyméretű kutatás DART<sup>20</sup> néven felhasználva európai szinten a repülési adatbázist. A kutatás célja összetett és két részből áll: egyedi trajektória előrejelzés készítése gépi tanulási algoritmusok segítségével (Rejtett Markov Modell, SVM<sup>21</sup>, döntési fák...) és ezeket felhasználva ágensalapú modellezéssel az igény – kapacitás egyensúlyi problémák kezelése az egyes szektorokban. A cél, hogy az előrejelzés az áramlásszervezés pre-taktikai fázisában is már megbízhatóan elér-

<sup>19</sup> BADA – Base of Aircraft Data – Repülőgép adatbázis

<sup>20</sup> DART – Data-driven Aircraft Trajectory Prediction Research – Adatvezérelt légijármű-trajektória előrejelző kutatás

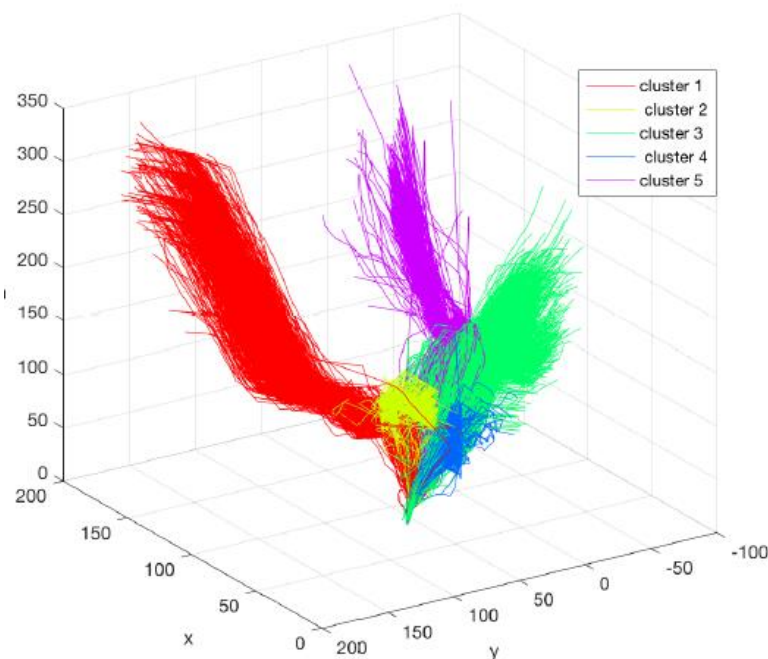
<sup>21</sup> SVM – Support Vector Machines – Szupport vektor gépek

hető legyen. A projekt kedvező kimenetele esetén az ATM iparág elmozdulhatna egy trajektória-alapú működés felé, amelynek várható előnye, hogy a világszinten jelentkező óriási méretű repülési igények kezelhetők lesznek [27].

### ETA<sup>22</sup> előrejelzés

Az előzőekben bemutatott előrejelzések a megközelítés fázisában kevésbé alkalmazhatók. A TMA<sup>23</sup>-kban lévő repülések az esetek túlnyomó részében ugyanis vektorálás alatt vannak, vagyis a lerepült útvonal mind horizontális, mind vertikális síkban nagyon eltérő lehet az egyes repülések esetén. Éppen ezért más módszert kell alkalmazni a repülés ezen fázisában lévő előrejelzésekhez.

A témával részletesen foglalkozott többek között egy francia-kínai kutatás (Wang et. al, 2017), amelynek eredményeképpen a pekingi TMA-ba berepülő légi járművek várható érkezési idejét lehet előrejelezni. A Beijing Capital International Airport (BCIA) a világ egyik legforgalmasabb repülőtere három futópályával, ahol egy pontos előrejelző modell nagyban tudja könnyíteni a repülőtéri irányítási műveleteket. A modell megalkotása két lépésben történt, mindkettőhöz a mesterséges intelligencia módszereit használták fel. Első körben a nagyszámú valós repülési trajektóriát tartalmazó tanító adatbázisból jól elkülöníthető csoportokba (klaszterekbe) sorolták a hasonló jellegzetességgel bíró útvonalakat (8. ábra).



8. ábra Megközelítési trajektóriák csoportosítása klaszterezési eljárással [28]

Ezután mesterséges neurális hálózatokkal tanították be a modellt arra, hogy minden egyes klaszter esetében megjósolja a repülőgép földet érési idejét. Ehhez a hálózatot sokféle bemenő változóval kell ellátni, úgymint a repülőgép három koordinátája, a távolsága a földet érési ponttól és az alapfalra fordulás pontjától, a heading, a sebesség (IAS<sup>24</sup>) vagy a vertikális sebesség. A betanítás után a rendszer képessé vált arra, hogy egy új érkező légi jármű esetén a fenti bemenő adatok ismeretében először a megfelelő klaszterbe sorolja a trajektóriát, majd előrejelezze a várható érkezési

<sup>22</sup> ETA – Estimated Time of Arrival – Várható érkezési idő

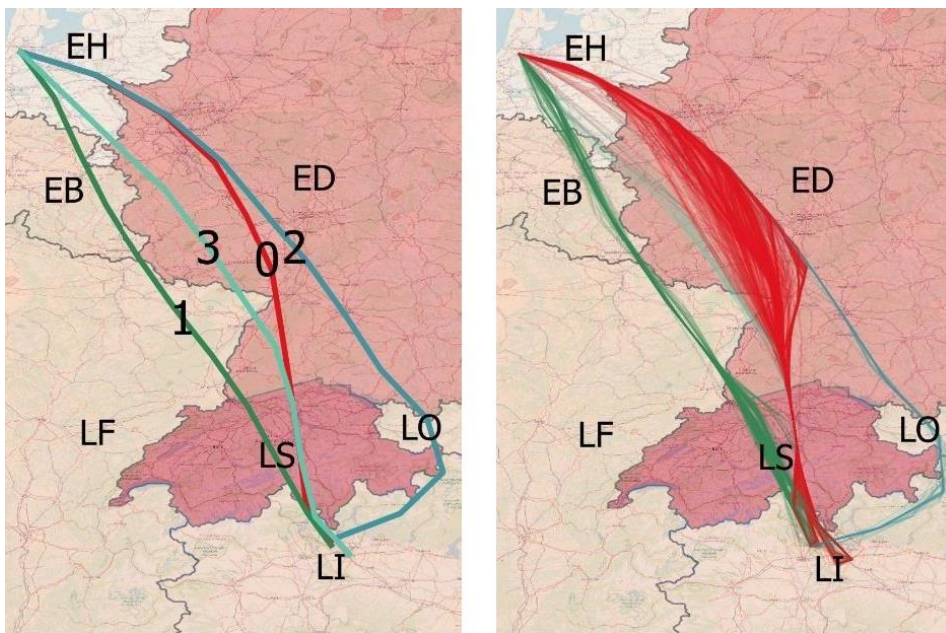
<sup>23</sup> TMA – Terminal Control Area – Közelkörzeti irányítói körzet

<sup>24</sup> IAS – Indicated air speed – Műszer szerinti sebesség

időt az adott klaszter modellje alapján. A tapasztalatok azt mutatták, hogy a modell már fél órával a földet érés előtt 150 másodperces átlagos pontossággal képes meghatározni a repülőgép érkezését, ami 10 perccel a földet érés előtt már 50 másodperc alatti pontosságra csökken [28].

### Légitársaságok útvonalválasztása

Míg a taktikai fázisban lévő repülések trajektória előrejelzéseire és időbeni lefolyására számos modell készült és több helyen alkalmazzák is azokat, a pre-taktikai és stratégiai tervezés támogatására eddig csak kevésbé fókuszáltak. A SESAR JU INTUIT<sup>25</sup> kutatási programjának keretében azonban spanyol kutatók logisztikus regresszió és döntési fa modelleket alkalmazva biztató eredményeket kaptak azt illetően, hogyan lehet még a repülési tervek benyújtása előtti fázisban megjósolni egy adott desztináció-pár közötti repülési útvonalat. Mint ismeretes, két város között számos útvonalon lehet repülni, a légitársaságok választása pedig akár repülésenként változhat. Az NMOC eddigi előrejelzési gyakorlata olyan útvonalakat feltételez, mint a korábbi hetek hasonló repülési tervében szereplők, ez a hasonlósági feltételezés azonban nem vesz számításba számos más befolyásoló tényezőt, így nem is ad megbízható előrejelzéseket. Az INTUIT program kutatói, 3 desztináció-pár példáján tesztelték modelljüket, ahol historikus adatok alapján a desztinációk közötti repült útvonalakat hasonlósági alapon klaszterekbe sorolták (9. ábra).



9. ábra Amszterdam - Milánó közötti repülési útvonalak csoportosítása [29]

Az egyes klaszterek más-más jellemzőkkel bíró útvonalakat valósítanak meg. Ezen jellemzők közül a kutatásban a repülési távolság, a navigációs díjak (eltérőek az egyes országokban) és az adott útvonal zsúfoltságát jellemző arányszám szerepeltek. A tanítási adathalmaz repülései pedig szegmentálva voltak légitársaságonként (valójában a repülés egy ülésre jutó költségei szerint, ami légitársaságonként egy időszakban azonos) és a repülés időszaka szerint (reggeli vagy délutáni csúc, illetve ezek között). A kutatás célja az volt, hogy adott tulajdonságú repülés esetére (egy ülésre jutó költség és napszak), adott jellemzőkkel bíró útvonalcsoportok (klaszterek) mellett előrejelezhető legyen, hogy a járat melyik klaszter szerinti útvonalon fog repülni,

<sup>25</sup> INTUIT – Interactive Toolset for Understanding Trade-offs in ATM Performance – Légiforgalmi irányításban fellelhető „trade-off” helyzetek feltárását célzó interaktív eszköztár.

illetve melyiken milyen valószínűséggel. A historikus adatokkal betanított és megfelelően paraméterezett modell segítségével ezután megadható, hogy egy adott viszonylaton milyen arányban oszlanak el a különböző útvonalak között az oda üzemelő repülések. Ez pontosabb előrejelzést ad, mint az eddig alkalmazott eljárás, eredményeképpen, ha minden desztináció-párra alkalmazzák, jól lokalizálhatók már a stratégiai tervezés szintjén is a hotspotok, illetve a várhatóan zsúfolt szektorok. A kutatás felhívja a figyelmet arra, hogy a modell, bár így is használható, további finomításokkal (pl.: szél, időjárás figyelembe vétele) tovább pontosítható. Összességében elmondható, hogy a gépi tanulás sikeresen le tudja modellezni az olyan összetett szempontrendszerű döntéseket is, mint amilyen a légitársaságok útvonalválasztása és ez a stratégiai szintű áramlásszervezésben az előrejelzéseket jelentősen pontosíthatja [29] [30].

### **Légiforgalmi irányítással kapcsolatos további alkalmazások**

Az előzőekben bemutatásra kerültek a forgalom lefolyásával kapcsolatos legtöbbet kutatott területek, ahol mesterséges intelligencia segítségével teszik előrejelezhetővé a sokszor sztochasztikus folyamatokat. Ezek elengedhetetlen részei ma már a légiforgalmi irányításnak. A következőkben bemutatott alkalmazások túlnyomórészt az ATM rendszerek támogatását szolgálják és jó példák arra, milyen extra lehetőségeket tudnak nyújtani a legújabb MI alapú modellek.

#### *Dinamikus légtérkonfiguráció*

A légiforgalmi irányításban a szektorizáció kialakítása az aktuális forgalom nagyság függvényében manapság jórészt intuitív, az ANSP-k áramlásszervező szolgálatának (FMU<sup>26</sup>) adatai szerint kerül meghatározásra. Az FMU-k Európában a központi áramlásszervezőtől, az EUROCONTROL-tól kapják a forgalmi előrejelzéseket, ezek alapján döntenek az irányítói munkateremben az aktuálisan működő szektorok számáról és összetételéről. Alacsonyabb forgalom esetén szektorokat vonhatnak össze, míg nagyobb vagy komplexebb forgalom esetén kisebb egységekre bonthatják az adott szektort. Ezek a szektornyitások és -zárások időben dinamikusan, az adott forgalmi helyzetnek megfelelően, de emberi döntéssel valósulnak meg, ahol a döntés alapja általában a várható forgalom nagyság és az adott szektor kapacitásának viszonya. A gyakorlat azonban azt mutatja, hogy az irányítói munkaterhelés nem csak a forgalom nagyságtól függ, hanem annak komplexitásából adódóan számos más tényezőtől is, amelyeket nem ismerünk. Ennek értelmében egy adott szektorizáció nem szükségszerűen eredményez ideális munkaterhelést a légiforgalmi irányítóknak, sokszor meghaladja a biztonságos szintet. A probléma kellő motivációt jelent ahhoz, hogy MI alkalmazásával megpróbálják előrejelezni az ideális munkaterhelésnek megfelelő szektor konfigurációt.

A probléma nehézségét az is fokozza, hogy magát a munkaterhelést is nehéz objektív módon mérni és arról is többféle tanulmány született, hogy ennek mi a megfelelő módja. Egyesek a fizikai aktivitást [31], mások a fiziológiai jellemzőket [32] [33], megint mások szubjektív irányítói értékelési eljárások eredményeit vennék alapul [34]. Ezek mellett az sem egyértelmű, hogy melyek azok a tényezők, amelyek hozzájárulnak a munkaterheléshez, vagyis mik lehetnek az input adatai az előrejelző modelleknek. Ebből a szempontból is érdekesek David Gianazza kutatásai, aki már az input változók meghatározására és ok-okozati kapcsolatok igazolására is gépi tanulási technikákat alkal-

---

<sup>26</sup> FMU – Flow Management Unit – Áramlásszervező egység

mazott. Modelljében a munkaterhelési szinteket három kategóriába sorolta, ezzel a problémát klaszterezési feladatként kezelte. Alacsony terhelésűnek tekintett egy szektort akkor, ha azt összevonták egy másikkal, magas terhelésűnek, ha szétbontották és normál terhelésűnek minden más esetben. A munkaterhelést leíró, kezdetben 27 darab input változót főkomponens analízissel 6-ra redukálta és kutatásában igazolta, hogy ebből 5 valóban egyértelműen magyarázza a munkaterhelés alakulását és nem csak intuitív a kapcsolat. Ez a hat tényező a következő:

- az adott szektor mérete;
- a légi járművek száma az adott szektorban;
- bejövő forgalom a következő 15 percben;
- bejövő forgalom a következő 60 percben;
- az átlagos függőleges sebessége a légi járműveknek az adott szektorban (ennél a jellemzőnél nem egyértelműen bizonyított a kapcsolat);
- a 20 foknál nagyobb szögben található sebességvektorok száma.

Gianazza ezután több különböző módszer (LDA<sup>27</sup>, QDA<sup>28</sup>, Naive-Bayes, neurális hálózatok és GBM<sup>29</sup>) alkalmazásával betanította modelljét az előrejelzésre, ami a legjobb módszer esetében 82%-os pontossággal működött is abban a légtérben, ami a tanuló adatbázist is szolgáltatta. További kutatásaiban rámutatott, hogy modellje továbbfejlesztésre szorul, más légtérekben nem hozza a kívánt pontosságot és a három kategóriába sorolt munkaterhelési skáláján is lehetne finomítani. Mindezek ellenére jó példát szolgáltat arra, hogy mennyiféleképpen lehet alkalmazni a mesterséges intelligenciát ugyanarra a feladatra [35] [36].

A problémára lehet kevésbé összetett módon is tekinteni, és csupán azt vizsgálni, hogy mikor melyik szektorkonfigurációt érdemes alkalmazni annak érdekében, hogy a műveletszám ne haladja meg a szektorkapacitást. Ebben a felfogásban a probléma egy összetettebb kombinatorikai feladatra vezethető vissza, amit döntési fa algoritmussal vagy genetikus algoritmussal lehet hatékonyan megoldani. Ilyen megközelítésben vizsgálta a témát Gianazza mellett [37] az az ENAC kutatócsoport (Sergeeva et. al, 2017) is, akik genetikus algoritmust alkalmazva dolgoztak ki eljárást a dinamikus légtérkonfiguráció megoldására. Modelljükben a lehető legkevesebb nyitott szektor mellett kívánták a munkaterhelést elfogadható szinten tartani, nem foglalkozva azzal, hogy milyen tényezők okozzák azt. Genetikus algoritmusuk az összes lehetséges légtérkonfigurációt vizsgálva határozza meg a legkedvezőbbet. Munkájuk jelentős gráfelméleti ismeretet tartalmaz és a maastrichti ACC légtérben működőképesnek is bizonyult [38].

### *Automatikus hangfelismerés alkalmazási lehetőségek*

Az utóbbi években az ATM iparágban is elkezdtek terjedni a hangfelismerést (ASR<sup>30</sup>) használó alkalmazások és egyre több helyen képesek támogatni a légiforgalmi irányítók munkáját a munkaterhelésük csökkentésével. Mivel a hangfelismerés technológiája is gépi tanulásra épül, ezért fontosnak tarjuk bemutatni, hogy milyen lehetőségek rejlenek az alkalmazásában. Amíg az Apple-nek a Siri® vagy a Google-nek a Voice Search® megoldása több ezer órányi tanító hanganyag segítségével került kifejlesztésre, addig a légiforgalmi irányításban használt fónia jelentősen kötött szókincse miatt az itteni hangfelismerő alkalmazások betanításához pár 10

---

<sup>27</sup> LDA – Linear Discriminant Analysis – Lineáris diszkrimináns analízis

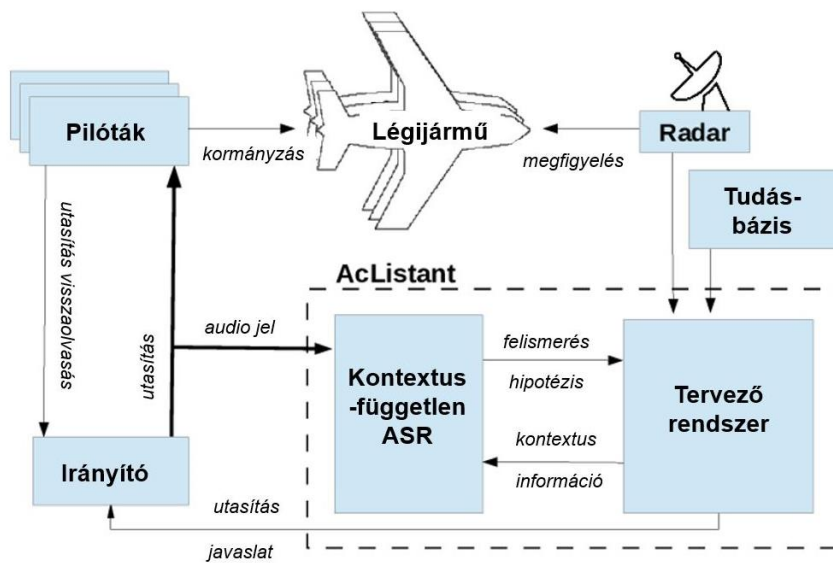
<sup>28</sup> QDA – Quadratic Discriminant Analysis – Négyzetes diszkrimináns analízis

<sup>29</sup> GBM – Gradient Boosting Machines – Gradiens módszer gyorsító eljárás

<sup>30</sup> ASR – Automatic Speech Recognition – Automatikus hangfelismerés

órányi hangadat is elegendő. Ráadásul, mivel a szórend is kötött és ugyanazt az utasítást csak kisszámú variációban lehet mondani, a tanítási folyamatot ez nagyban megkönnyíti [39].

Az alkalmazások tekintetében úttörőnek számít az AcListant® (Active Listening Assistant, 2013–2015) projekt, a német ANSP, a DFS, és a DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) légiforgalmi irányító támogató eszköze. A támogatás alapú hangfelismerőben (ABSR<sup>31</sup>) testet öltő irányítói eszköz 95%-os pontossággal képes értelmezni az irányítói utasításokat és ennek megfelelően a radarképernyőn lévő címkék információtartalmát ellenőrizni (10. ábra). A továbbfejlesztett AcListant-Strips® megoldás pedig jelentősen képes csökkenteni az irányítói munkaterhelést azáltal, hogy az elektronikus címkék manuális (egér és billentyűzet alapú) frissítését a kiadott utasítást megértve automatikusan végzi el. A rendszeresen és nagy mennyiségben ismétlődő utasításokra Düsseldorf közelkörzeti légterében tesztelt alkalmazás óránként kettővel több légi jármű leszállítását teszi lehetővé a 23R futópályára [40].



10. ábra Támogatás-alapú hangfelismerő rendszer sematikus működési elve [41]

A SESAR keretek között megvalósuló MALORCA projekt a meglévő ABSR rendszerek továbbfejlesztését és önálló terméké alakítását tűzte ki céljául. A kutatásban gépi tanuló algoritmusokat segítségül hívva arra dolgoztak ki megoldást a szakemberek, hogyan lehet olcsón és könnyen adoptálni a meglévő eszközöket teljesen új környezetbe (más légtér, más akcentus, más irányítói eljárások...). A kutatás része volt az is, hogy a meglévő rendszerek irányítói utasítás felismerési hibáját további gépi tanításokkal tovább csökkentsék. Az eredmények tekintetében a prágai közelkörzeti légtérben 7,9%-ról 0,6% alá, míg a bécsi közelkörzeti környezetben 18,9%-ról 3,2%-ra sikerült csökkenteniük a felismerési hibaráta [42].

Az alkalmazási lehetőségek széleskörű felhasználhatóságát mutatja, hogy a további tervek között szerepel még az álpilóták munkájának kiváltása a hangfelismerés által. Ezt a légiforgalmi szimulációk során lehetne alkalmazni, ahol egy programozott pilótalogika a felismert irányítói utasítást szöveggé alakítva (speech-to-text) a szimulátornak kiadja a megfelelő parancsokat, illetve az utasításra válaszol (text-to-speech) az irányítónak. Ebben a szegmensben ért el biztató kutatási ered-

<sup>31</sup> ABSR – Assistant-based Speech Recognizer – Támogatás alapú hangfelismerő



ményeket a HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Virtual Pseudo Pilot (VPP) projektje, ahol sikeresen alkalmaznak ASR rendszert a pilóatalogika input adatainak generálására. Ez különböző akcentusokra is optimalizálva lett kialakítva. Kifejlesztésre került az irányítói utasításokra adott automatikus válasz generálása (a pilóatalogika) is, jelenleg pedig a szimulátorral és a kommunikációs rendszerrel való összeköttetésen dolgoznak a magyar szakemberek.

### *A toronyirányítás támogatása*

Az intelligens megoldások a toronyirányításban is megjelennek. A munka széleskörű támogatását teszik lehetővé a kameraalapú, képfelismerést használó rendszerek, komplex földi mozgások esetén a gurításokat támogató szoftveres megoldások, és a big data elemzések által betanított legkülönfélébb előrejelzések is. A teljesség igénye nélkül álljon itt néhány alkalmazási lehetőség.

Tavaly mutatta be kutatási eredményeit az a francia kutatócsoport, amely a repülőgépek végső megközelítési trajektóriáit elemezte és funkcionális főkomponens elemzés, valamint felügyelet nélküli gépi tanulási algoritmusok segítségével ki tudta szűrni azokat az atipikus megközelítéseket és ezek jellemzőit, amelyek nem stabilizált megközelítésekhez vagy legrosszabb esetben földnek vezetett repülésekhez vezetnek (CFIT<sup>32</sup>). A modell továbbfejlesztésével céljuk egy valószínű idejű alkalmazás kifejlesztése, amely a toronyirányításnak is támogatást tudna adni, jelezve azokat a megközelítéseket, amelyekből nagy eséllyel átstartolás lehet [43].

Különösen a távoli toronyirányítási rendszereknél nő meg a különböző kamerák szerepe, amelyek azon kívül, hogy a légiforgalmi irányítóknak az „ablakot helyettesítik” még egyéb funkciókat is el tudnak látni. A MI által betanított objektumfelismerési funkcióval rendelkező kamerákat lehet úgy programozni, hogy adott repülőgépet automatikusan kövessen, kényelmesebbé téve ezzel az irányítói munkát. Szintén az objektumdetektálást alkalmazva van szerepe az olyan kameraalapú jelzőrendszereknek is, amelyek a futópályákon lévő törmelék, állatokat, járműveket, vagy egyéb nem odaillő tárgyakat (gyűjtőnévén: FOD<sup>33</sup>) azonosítanak. A FOD automatikus és gyors detektálása legfőképpen a nagyforgalmú repülőtereken kulcsfontosságú, hiszen azokon a sűrű forgalom mellett kevés idő van a manuális pályaellenőrzésre. A problémát egészen az utóbbi évekig LIDAR<sup>34</sup>, vagy egyéb radar elven működő detektorokkal oldották meg a legtöbben, azonban a kameratechnológiával egyidejűleg a mesterséges intelligencia alapú képfelismerés is fejlődött annyit, hogy nagyfelbontású kameraképeken előre betanított objektumokat felismerjen a rendszer. Ennek előnye az eddigi technológiával szemben az olcsósága lehet, illetve, míg a radaralapú érzékelőket sűrűn kell telepíteni a futópályák mellé, addig a megfelelő felbontással rendelkező kamerákból kevesebb is elegendő. Infrakamerák alkalmazásával a sötétben is lehet látni, valamint vannak olyan megoldások is, amelyek a futópályák burkolatának állapotát és a vízzel vagy hóval való borítottságukat is elemezni tudja [44].

Több nagyobb forgalmú, vagy összetett gurulóúthálózattal rendelkező repülőtér esetében alkalmaznak valamilyen döntéstámogató szoftvert a gurító irányító megsegítésére. Ezek jó része a gurítóradart is tartalmazó modern A-SMGCS<sup>35</sup> rendszerekben már integrálva érhető el, de létez-

---

<sup>32</sup> CFIT – Controlled Flight Into Terrain – Földnek vezetett repülés

<sup>33</sup> FOD – Foreign Object Debris – A futópályák, guruló utak és forgalmi előterek környezetében található hulladék

<sup>34</sup> LIDAR – Light Detection and Ranging – Lézer alapú távérzékelés

<sup>35</sup> Advanced Surface Movement Guidance and Control System – Földi mozgást felderítő és ellenőrző összetett rendszer

nek különálló megoldások is. A szoftveres támogatás sok esetben evolúciós algoritmusokon alapszik, amely szintén a mesterséges intelligencia területei közé tartozik. Jó példa erre a német DLR által fejlesztett megoldás (TRACC<sup>36</sup>), ami konfliktusmentes gurulási útvonalakat biztosít a futópályák és az állóhelyek között. A program kétféle megközelítésben optimalizálja az útvonalakat: a repülőgépek útvonalának és a sebességének változtatásával. A rendszer számításba tudja venni a még levegőben lévő, illetve az állóhelyen álló repülőgépeket is. Az útvonalak tervezése során a késéseknek, az útvonal hosszának, valamint a megállások számának minimalizálására törekszik az alkalmazás. Az optimalizált megoldás megvalósításához az irányítónak javaslatokat ad a megfelelő utasításokra (11. ábra). Fontos kiemelni, hogy a hasonló rendszerek fontos részét képezhetik a repülőtéri szereplők integrált döntéstámogató platformjának (A-CDM<sup>37</sup>) is, amely alkalmazásával a repülőterek működésének hatékonyságát jelentősen lehet növelni [45] [46].



11. ábra Utasítás-javaslatok a gurítóirányítónak egy gurulási útvonaloptimalizáló szoftverben [46]

## Egyéb kapcsolódó felhasználások

A legfontosabb felhasználási területek bemutatása után néhány további gondolatébresztő alkalmazási lehetőségre hívnánk fel a figyelmet.

### *A drónok és a mesterséges intelligencia*

Általában amikor az aviatikát és a mesterséges intelligenciát együtt említjük, a fő terület, ami nagy valószínűséggel elsőre eszünkbe jut azok a pilóta nélküli légi járművek más néven a drónok. A MI szerepe jelenleg is megkérdőjelezhetetlen a drónok világában, hisz fedélzeti alkalmazásként már ma is használatos és nélkülözhetetlen a biztonságos repülések érdekében. Gondoljunk csak az akadály- és ütközésselkerüléséhez szükséges képfelismerésre, elemzésre, vagy akár az objektumfelismerő és követő technológiákra.

A MI által irányított fedélzeti képességek mellett a drónok irányítását és menedzselését végző rendszer sem képzelhető el mesterséges intelligencia nélkül. Napjainkban egyre növekszik az igény a BVLOS<sup>38</sup> repülésekre, elég csak a csomagkiszállításra, sürgősségi vér vagy defibrillátor

<sup>36</sup> TRACC – Taxi Routing for Aircraft: Creation and Controlling – Légijármű gurulási útvonalának létrehozása és felügyelete

<sup>37</sup> A-CDM – Airport Collaborative Decision Making – Repülőtéri közös döntéshozatal

<sup>38</sup> Beyond visual line of sight – Látótávolságon túli

szállításra, autonóm biztonsági megfigyelésekre, és mezőgazdasági felhasználásokra gondolni. A Roland Berger előrejelzése alapján 2025-re megközelítőleg 27 000 napi repüléssel kell számolni Magyarországon. Nem csak a mennyiség, de a repülések trajektóriáinak komplexitása is eltér a légiforgalmi irányításban megszokottól, mivel ezek az eszközök képesek hirtelen irányt változtatni, megállni, ráadásul az alacsony légtérben dinamikusán változó környezeti elemeket is figyelembe kell venni. Könnyen belátható, hogy a drónok menedzselése és légiforgalmi irányításba történő integrálása már nem megoldható a mai eszközök és emberi erőforrás segítségével. Szükséges egy olyan pilóta nélküli légi járműrendszerek forgalmi menedzsentjét biztosító rendszer (UTM<sup>39</sup>) kiépítése és üzemeltetése, ami önállóan alkalmas a drónok hatékony és biztonságos kezelésére. Egy ilyen ökoszisztéma pedig elképzelhetetlen mesterséges intelligencia nélkül. Szükség lesz stratégiai konfliktus menedzsmetre, dinamikus útvonaltervezésre és konfliktusok detektálásra, és azok megoldására, ráadásul mindezt valós időben kell képesnek lenni [47] [48] [49].

### *Iparági szereplők megoldásai*

Számos ATM iparágban tevékenykedő vállalat alkalmaz mesterséges intelligencia alapú megoldásokat vagy végez kutatásokat a témában jövőbeni felhasználási lehetőségekről. A brit ANSP, a NATS például 2017 márciusa óta használ egy olyan előrejelző alkalmazást a londoni TMA-ban, amely előre figyelmezteti a légiforgalmi irányítókat, ha nagy valószínűség szerint valamilyen potenciális konfliktust megelőző beavatkozás szükséges. A gépi tanuláson alapuló algoritmusuk olyan biztonságkritikus események bekövetkezésének valószínűségére ad előrejelzést, mint a level bust (kiadott magasságtól való eltérés) vagy a légtérsértések. 2015-től kezdődő valós adatokat használva a program kapcsolatot keres a veszélyhelyzetek és a forgalmi minták között (forgalom nagyság, pályairány, időjárási helyzet...), az eredmények pedig azt mutatják, hogy a 60–80% közötti pontossággal futó rendszerben rejlenek lehetőségek [50].

Szintén a NATS tevékenységéhez köthető a Heathrow repülőtérén jelenleg még fejlesztés alatt álló kamerarendszer, ami rossz látási körülmények esetén (különösen alacsony felhőalap mellett, amikor az irányítótorony kabinja a felhőbe ér, de a pályán jók a látási viszonyok) kínál segítséget az irányítóknak és növeli meg a reptéri kapacitást. A Searidge Technologies Aimee platformján működő, MI alapú rendszer képfelismerés útján azonosítja a futópályák szabaddá válását. Sikeres tesztek esetén elkerülhető a rossz látási viszonyok miatti jelenleg kötelező kapacitáscsökkentés, ami a világ egyik legforgalmasabb repülőtérén jelentős késésekhez vezet [51].

Az Airbus is teljes mértékben elkötelezett a MI fejlesztések iránt. Csak egy pár példa a fejlesztéseik közül. A helikopterek már 2005 óta mesterséges intelligenciát használnak a forgószárnyak beállításához. Az IBM Watson segítségével olyan eddig ismeretlen összefüggéseket tártak fel, amire ember nem lett volna képes, például a hőmérséklet és a fékek korai kopása közötti pontos korreláció. Képelemző algoritmusok segítségével szatellitképek alapján képesek különbséget tenni a felhők és a havazás között [52]. Mesterséges intelligencia kutatásával kapcsolatos vállalkozásoknak, kutatócsoportoknak vagy magánszemélyeknek kínál pályázati lehetőséget az Airbus AiGym programja, ahol a vállalat által szolgáltatott adatok segítségével egy meghatározott problémára kell megoldást kidolgoznia a résztvevőknek. Ennek eredménye például az a hangfelismerő technológia is, ami a repülőgépek pilótafülkéjében alkalmazva csökkentheti a pilóták munkaterhelését azáltal, hogy felismeri a rádióforgalmazásban az adott járatra

---

<sup>39</sup> UAS Traffic Management – Pilóta nélküli légi járműrendszerek forgalmi menedzsentjét biztosító rendszer

vonatkozó információkat. A rendszer egyrészt hangból szöveggé alakítja az utasításokat, másrészt jelez, ha az adott járat hívójelét véli „kihallani” a rádiózásból. A projekt eredményességét mutatja, hogy idén már a termékfejlesztés fázisába lépett a koncepció [53].

Rendkívül sokrétű módon használja a legújabb technológiákat a francia multinacionális vállalat, a Thales is. Megoldást nyújtanak például a légiforgalmi irányítók vagy a pilóták képzése során a teljesítmény valós idejű monitorozására, amely, mint egy „elektronikus asszisztens” értékeli az adott hallgató teljesítményét. Jelen vannak az autonóm légi jármű-rendszerek fejlesztésében és a légtérbe való illesztésük megvalósítási folyamataiban is. Ezen kívül nem elhanyagolható módon az Európai Bizottság által életre hívott AI4EU<sup>40</sup> projekt vezetője is a vállalat, amely 79 szervezet és 21 ország részvételével európai szintű mesterséges intelligencia platformot hozna létre, lehetővé téve a technológiák, alkalmazások, esettanulmányok és tudásanyag megosztását az európai piacon. Ezen kívül céljuk a MI-val foglalkozó startup vállalkozások segítése is a CENTECH inkubátorházzal közösen többek között olyan területeken, mit a drónok légtérbe illesztése és autonóm forgalmi menedzsmentje [54] [55] [56].

A NASA Ames kutatóközpontjának MI alapú megoldása a „rendellenes működések” azonosítására összpontosít, ezzel megelőzve az esetleges kritikus hibák létrejöttét. Mivel a kereskedelmi légi közlekedés biztonsága jelenleg is nagyon magas, kevés a mintavételi lehetőség és nagy kihívást jelent azon rendellenességek megtalálása, amelyek biztonsági problémát jelenthetnek. A MI a repülési adatok között kutatva olyan mintákat is felfedezhet, amelyek akár a repülőgép konstrukciós hibájára is utalhatnak [47].

### **Jövőbe mutató tervek**

A mesterséges intelligencia egy jelenleg is hatalmas fejlődésen keresztülmenő tudományterület. A jövőben a jelenlegi alkalmazási irányok jelentős továbbfejlesztése és gyakorlatba illesztése várható, azonban ezek időtávja eléggé kérdéses. Az aviatikában minden radikális változtatás más iparágakhoz képest lassabban megy végbe, főleg a biztonságkritikus területek, leginkább az ATM rendszerek megújítása óvatos. A fő irányvonal az egyes rendszerelemek automatizálása, az irányítói munka támogatása kell, hogy legyen. A SESAR program víziójában megjelenő trajektória-alapú ATM rendszerek paradigmaváltást hozhatnak az iparágak és megoldást nyújthatnak a növekvő forgalom okozta kihívásokra. Azt mindenesetre fontos kiemelni, hogy minden MI alapú automatizálási kísérletet szigorú, a biztonságot szem előtt tartó kutatások kell, hogy megelőzzék. A hosszútávú tervek mindegyike, mint segédeszközzel, és nem, mint embert helyettesítő technológiával számol az automatizálás tekintetében. Az automatizálás célja az ember munkaterhelésének csökkentése kell, hogy legyen, lehetővé téve ezzel, hogy a biztonságkritikus feladatokra fókuszálhasson [18].

## **ÖSSZEGRZÉS**

A folyamatosan növekvő légiforgalom és a velejáró komplexitás, megköveteli a legfejlettebb IT megoldások alkalmazását. Összességében elmondható, hogy egy újabb ipari forradalom kel- lős közepén állunk, aminek a főszereplője a MI. A fentebb említett példák segítségével szem- léltettük a mesterséges intelligencia lehetséges alkalmazási területeit és felhasználását, amellyel

---

<sup>40</sup> AI4EU - Artificial Intelligence for European Union

már most elősegíti a kereskedelmi repülés biztonságosabbá és hatékonyabbá válását. Viszont szeretnénk felhívni a figyelmet arra is, hogy az aviatikai szektorban a mesterséges intelligenciára nem kell szükségszerűen úgy gondolni, hogy elterjedésével felváltja az emberi munkaerőt, racionálisabb az a látásmód, hogy sokkal inkább az ember mellett, az ember munkáját és döntéseit fogja segíteni, mint egy társ. A Nasa Ames kutatás vezetője szerint: „Az aviatika világában a MI nem fogja helyettesíteni az embert. Épp ellenkezőleg, a MI és az ember tökéletesen kiegészítik egymás munkáját – ez partnerség pedig életet menthet.” Mindezek mellett az Airbus véleménye is az, hogy bár napjainkban a mesterséges intelligencia szinte minden iparágban megkerülhetetlen, szerepe mégis az emberi szakértelem kiegészítése, a döntési mechanizmusok könnyítése, ami végső soron segít csökkenteni az emberek kognitív terheltségét.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] R. Agarwal, "10 Examples of Artificial Intelligence You're Using in Daily Life," 09. 2018.. [Online]. Available: <https://beebom.com/examples-of-artificial-intelligence/>. [Accessed 20. 03. 2019.]
- [2] G. Press, "A Very Short History Of Artificial Intelligence (AI)," 2016. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2016/12/30/a-very-short-history-of-artificial-intelligence-ai/#58a67886fba2>. [Accessed 20. 03. 2019.]
- [3] elementsofai.com, "Elements of AI," University of Helsinki, 2018. [Online]. Available: <https://www.elementsofai.com/>. [Accessed 20. 03. 2019.]
- [4] B. Marr, "The Key Definitions Of Artificial Intelligence (AI) That Explain Its Importance," 2018. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/02/14/the-key-definitions-of-artificial-intelligence-ai-that-explain-its-importance/#15ef92274f5d>. [Accessed 20. 03. 2019.]
- [5] wakefly.com, "Artificial Intelligence: More than Robots," 2018. [Online]. Available: <https://www.wakefly.com/blog/artificial-intelligence-more-than-robots/>. [Accessed 08. 03. 2019.]
- [6] C. Kumar, "Artificial Intelligence: Definition, Types, Examples, Technologies," 2018. [Online]. Available: <https://medium.com/@chethankumargn/artificial-intelligence-definition-types-examples-technologies-962ea75c7b9b>. [Accessed 13. 03. 2019.]
- [7] S. Ray, "Four Types of AI," 2018. [Online]. Available: <https://codeburst.io/four-types-of-ai-6aab2ce57c19>. [Accessed 20. 03. 2019.]
- [8] A. Hintze, "Understanding the 4 Types of A.I.," 2016. [Online]. Available: <https://www.rdmag.com/article/2016/11/understanding-4-types-ai>. [Accessed 18. 03. 2019.]
- [9] L. Z. Karvalics, "Mesterséges intelligencia – a diskurzusok újratervzésének kora," *Információs Társadalom*, vol. XV., no. 4., p. 18., 2015. DOI: <https://doi.org/10.22503/inftars.XV.2015.4.1>
- [10] R. K. Agrawal, "Difference between Machine Learning, Deep Learning and Artificial Intelligence," 2018. [Online]. Available: <https://medium.com/@UdacityINDIA/difference-between-machine-learning-deep-learning-and-artificial-intelligence-e9073d43a4c3>. [Accessed 15. 03. 2019.]
- [11] M. Dhande, "What is the difference between AI, machine learning and deep learning?," 2017. [Online]. Available: <https://www.geospatialworld.net/blogs/difference-between-ai%EF%BB%BF-machine-learning-and-deep-learning/>. [Accessed 16. 02. 2019.]
- [12] P. Jeffcock, "What's the Difference Between AI, Machine Learning, and Deep Learning?," 2018. [Online]. Available: <https://blogs.oracle.com/bigdata/difference-ai-machine-learning-deep-learning>. [Accessed 20. 03. 2019.]
- [13] J. Vincent, "This is when AI's top researchers think artificial general intelligence will be achieved," 2018. [Online]. Available: <https://www.theverge.com/2018/11/27/18114362/ai-artificial-general-intelligence-when-achieved-martin-ford-book>. [Accessed 02. 03. 2019.]
- [14] ubs.com, "The fourth industrial revolution," 2018. [Online]. Available: <https://www.ubs.com/microsites/artificial-intelligence/en/new-dawn.html>. [Accessed 10. 03. 2019.]
- [15] S. Writers, "Gartner Hype Cycle: AI Will Be Everywhere In 10 Years," 2018. [Online]. Available: <https://which-50.com/gartners-2018-hype-cycle-ai-will-be-everywhere-in-10-years/>. [Accessed 28. 02. 2019.]

- [16] K. Panetta, "5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018," 2018. [Online]. Available: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/>. [Accessed 18. 03. 2019.].
- [17] iata.org, "IATA Forecast Predicts 8.2 billion Air Travelers in 2037," 2018. [Online]. Available: <https://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2018-10-24-02.aspx>. [Accessed 19. 03. 2019.].
- [18] sesarju.eu, "Artificial intelligence in air traffic management," SESAR JU, 2018. [Online]. Available: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/Artificial%20Intelligence%20and%20SESAR%20FINAL.pdf>. [Accessed 19. 03. 2019.].
- [19] eurocontrol.int, "Strategic, pre-tactical, tactical and post-ops air traffic flow and capacity management," 2017. [Online]. Available: <https://www.eurocontrol.int/service/strategic-pre-tactical-tactical-and-post-ops-air-traffic-flow-and-capacity-management>. [Accessed 19. 03. 2019.].
- [20] J.-M. Alliot and Y. Le Fablec, *Using Neural Networks to predict aircraft trajectories*, 1999.
- [21] M. Ghasemi Hamed et al., "Statistical prediction of aircraft trajectory: regression methods vs point-mass model," ATM Seminar, 2013.
- [22] K. Tastambekov, S. Puechmorel, D. Delahaye and C. Rabut, "Aircraft trajectory forecasting using local functional regression in sobolev space," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 39., pp. 1-22, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.11.013>
- [23] M. Ghasemi Hamed, *Méthodes non-paramétriques pour la prévision d'intervalles avec haut niveau de confiance: application à la prévision de trajectoires d'avions.*, Thèse doctorat informatique de l'INPT, 2014.
- [24] M. Hrastovec and F. Solina, "Machine learning model for aircraft performances.," in *33rd Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/DASC.2014.6979541>
- [25] R. Alligier, D. Gianazza és N. Durand, „Machine learning and mass estimation methods for ground-based aircraft climb prediction.,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 16.6: 3138-3149, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2437452>
- [26] R. Alligier, D. Gianazza és N. Durand, „Machine learning applied to airspeed prediction during climb.,” ATM seminar 2015, 11th USA/EUROPE Air Traffic Management R&D Seminar., 2015.
- [27] F. Esther Calvo et al., "DART: A Machine-Learning Approach to Trajectory Prediction and Demand-Capacity Balancing.," Seventh SESAR Innovation Days, 2017.
- [28] Z. Wang, M. Liang and D. Delahaye, "Short-term 4d trajectory prediction using machine learning methods," SID 2017, 7th SESAR Innovation Days, 2017.
- [29] R. Marcos, O. García-Cantú és R. Herranz, „A Machine Learning Approach to Air Traffic Route Choice Modelling,” 2018. [Online]. Available: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1802/1802.06588.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 19. 03. 2019.].
- [30] R. Marcos, O. García-Cantú és R. Herranz, „Combining Visual Analytics and Machine Learning for Route Choice Prediction,” Seventh SESAR Innovation Days, 28th – 30th November, 2017, Belgrade, Serbia, 2017.
- [31] J. Crump, "Review of stress in air traffic control: Its measurement and effects," *Aviation, Space and Environmental Medecice*, 1979.
- [32] P. Averty, S. Athènes, C. Collet and A. Dittmar, "Evaluating a new index of mental workload in real ATC situation using psychological measures.," Note CENA NR02-763, CENA, 2002.
- [33] C. Martin, J. Cegarra and P. Averty, "Analysis of mental workload during en-route air traffic control task execution based on eye-tracking technique," in *International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*, pages 592–597. Springer, 2011. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-21741-8\\_63](https://doi.org/10.1007/978-3-642-21741-8_63)
- [34] P. Kopardekar and S. Magyarits, "Measurement and prediction of dynamic density," in *Proceedings of the 5th USA/Europe Air Traffic Management R & D Seminar*, 2003.
- [35] D. Gianazza, "Analysis of a workload model learned from past sector operations," SID 2017, 7th SESAR Innovation Days, 2017.
- [36] D. Gianazza, "Learning Air Traffic Controller Workload from Past Sector Operations," ATM Seminar, 12th USA/Europe Air Traffic Management, D Seminar, Jun 2017, Seattle, United States, 2017.
- [37] D. Gianazza and J.-M. Alliot, "Optimization of air traffic control sector configurations using tree search methods and genetic algorithms," *Digital Avionics Systems Conference*, Oct 2002, Irvine, United States. 1, pp 2A5-1 - 2A5-8, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1109/DASC.2002.1067912>

- [38] M. Sergeeva et al., "Dynamic airspace configuration by genetic algorithm," *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, vol. 4.3, pp. 300-314, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.05.002>
- [39] H. Helmke, J. Rataj, T. Miihlhausen, O. Ohneiser, H. Ehr, M. Kleinert, Y. Oualil and M. Schulder, "Assistant-Based Speech Recognition for ATM Applications," 11th USA/ Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, 2015.
- [40] sesarju.eu, „Exploring the boundaries of air traffic management, A summary of SESAR exploratory research results 2016-2018.,” 2018. [Online]. Available: [https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/ER\\_Results\\_2016\\_2018.pdf](https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/ER_Results_2016_2018.pdf). [Hozzáférés dátuma: 19. 03. 2019.]. DOI: <https://doi.org/10.2829/133053>
- [41] A. Schmidt et al., "Context-based recognition network adaptation for improving on-line asr in air traffic control," 2014 IEEE Spoken Language Technology Workshop (SLT), 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/SLT.2014.7078542>
- [42] eurocontrol.int, "MALORCA - Automatic Recognition of ATC Commands using Speech and Radar Data, Presentation on TIM/ART workshop on Machine Learning and Artificial Intelligence," 2018. [Online]. Available: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/events/presentation/art-ws-ml-ai-07-malorca-idiap.pdf?update=0410>. [Accessed 19. 03. 2019.].
- [43] G. Jarry et al., "Aircraft Atypical Approach Detection using Functional Principal Component Analysis," SESAR Innovations Days 2018, 2018.
- [44] digitaljournal.com, "Global Airport Runway Foreign Object Debris (FOD) Detection Systems Market Projections by 2028," 2018. [Online]. Available: <http://www.digitaljournal.com/pr/4088860>. [Accessed 19. 03. 2019.].
- [45] J. García et al., "Optimization of airport ground operations integrating genetic and dynamic flow management algorithms," *AI Communications*, vol. 18.2, pp. 143-164, 2005.
- [46] I. Gerdes és A. Temme, „Taxi routing for aircraft: Creation and Controlling,” The Second SESAR Innovation Days, 2012.
- [47] A. Behr, "More than an auto-pilot, AI charts its course in aviation," 2018. [Online]. Available: <https://arstechnica.com/information-technology/2018/12/unite-day1-1/>. [Accessed 14 03 2019].
- [48] RolandBerger, "Magyar drónpiaci elemzés és növekedési kitekintés," Roland Berger, 2017.
- [49] A. Tiburca, "AI and the future of drones," 2017. [Online]. Available: <https://thenextweb.com/contributors/2017/12/01/ai-future-drones/>. [Accessed 19. 03. 2019.].
- [50] nats.aero, "Machine learning, Artificial Intelligence and air traffic management," 2018. [Online]. Available: <https://nats.aero/blog/2018/02/machine-learning-artificial-intelligence-air-traffic-management/>. [Accessed 19. 03. 2019.].
- [51] nats.aero, "NATS trialling use of Artificial Intelligence at Heathrow Airport to cut delays," 2018. [Online]. Available: <https://www.nats.aero/news/nats-trialling-use-artificial-intelligence-heathrow-airport-cut-delays/>. [Accessed 19. 03. 2019.].
- [52] Airbus, "Airbus' AIGym artificial intelligence challenge: focus on time series analysis," 2018. [Online]. Available: <https://www.airbus.com/newsroom/news/en/2018/12/airbus--latest-aigym-artificial-intelligence-challenge-is-focuse.html>. [Accessed 11. 03. 2019.].
- [53] aigym.airbus.com, „ATC Speech Recognition Challenge,” [Online]. Available: <https://aigym.airbus.com/contest/5bc8313f58907f002785515d>. [Hozzáférés dátuma: 19. 03. 2019.].
- [54] thalesgroup.com, "CENTECH and Thales launch AI@CENTECH to boost start-ups to success in artificial intelligence," 2019. [Online]. Available: <https://www.thalesgroup.com/en/canada/press-release/centech-and-thales-launch-aicentech-boost-start-ups-success-artificial>. [Accessed 19. 03. 2019.].
- [55] thalesgroup.com, "Launch of first European artificial intelligence platform coordinated by Thales," 2019. [Online]. Available: <https://www.thalesgroup.com/en/group/journalist/press-release/launch-first-european-artificial-intelligence-platform-coordinated>. [Accessed 19. 03. 2019.].
- [56] N. Zazulia, "Thales is Using AI to Augment Air Traffic Management, Avionics International," 2019. [Online]. Available: <https://www.aviationtoday.com/2019/01/24/thales-using-ai-augment-atm/>. [Accessed 19. 03. 2019.].

---

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AVIATION**

---

*The AI (Artificial Intelligence) and its different fields, such as machine learning or deep learning, have gone through huge changes over the years. Although the principles are more than 50 years old, but today's easily accessible vast amount of data have helped them to reach all aspects of everyday's life. In the first part of our article, we would like to give a comprehensive picture about the definition, the functions and the classification of the AI, as well as describing those worldwide trends, that shape the present and the future of this field of science. In the second part we introduce the potential possibilities of the technology through aviation applications, together with the notion of the long term use and vision.*

**Keywords:** artificial intelligence, machine learning, forecasting, SESAR, ATM, data analyses

---

---

Szarvas Dávid Kutatás-fejlesztési szakértő HungaroControl Magyar Légiforgalmi Zrt. Üzletfejlesztési Igazgatóság Szakmai Fejlesztési Osztály david.szarvas@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0001-7761-9299	Dávid Szarvas Research and Development Specialist HungaroControl Hungarian Air Navigation Services Business Development Directorate Research, Development and Simulation Department david.szarvas@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0001-7761-9299
Tichy Roland Junior kutatás-fejlesztési szakértő HungaroControl Magyar Légiforgalmi Zrt. Üzletfejlesztési Igazgatóság Szakmai Fejlesztési Osztály roland.tichy@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0003-3198-3663	Roland Tichy Junior Research and Development Specialist HungaroControl Hungarian Air Navigation Services Business Development Directorate Research, Development and Simulation Department roland.tichy@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0003-3198-3663
Rohács Dániel (PhD) Szakmai Fejlesztési Osztályvezető HungaroControl Magyar Légiforgalmi Zrt. Üzletfejlesztési Igazgatóság Szakmai Fejlesztési Osztály daniel.rohacs@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417	Daniel Rohács (PhD) Head of Research, Development and Simulation Dept. HungaroControl Hungarian Air Navigation Services Business Development Directorate Research, Development and Simulation Department daniel.rohacs@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417

---



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/261/44>



Stanislav Szabo

## AERONAUTICAL AND AEROSPACE ENGINEERING – A NEW FIELD OF STUDY IN THE SYSTEM OF THE FIELDS OF STUDY IN THE SLOVAK REPUBLIC

DOI: 10.32560/rk.2019.1.16

*The contribution analyzes the reasons for the creation of a new field of study „AERONAUTICAL AND AEROSPACE ENGINEERING”, which was successfully included in the system of the fields of study in the SR in 2017. The new field of study was formed under the auspices of the Faculty of Aeronautics of the Technical University of Kosice as a response to the current requirements of the European labour market in the field of aeronautical and aerospace engineering. Responding to this requirement, the Faculty of Aeronautics of the Technical University of Kosice has the ambition to present a new study program "Aeronautical and Aerospace Engineering" and submit for accreditation in 2018. Successful accreditation of this study program will enable us to prepare new specialists being searched by the labour market, and thus contribute to the effort declared of the Slovak Republic to keep pace with technological development in Europe.*

**Keywords:** Faculty of Aeronautics, a New Field of Study, Aerospace Engineering, Aeronautical and Aerospace Technology, Slovak Republic

### INTRODUCTION

At the proposal of the Faculty of Aeronautics of the Technical University of Kosice and subsequently the recommendation of the Accreditation Commission of the Ministry of Education, Science, Research and Sports of the Slovak Republic a new field of study 5.02.61 AERONAUTICS AND AEROSPACE ENGINEERING was introduced. This field of study does not duplicate any existing one, but extends fields of study of the SR, already established overseas as "AEROSPACE ENGINEERING". This multidisciplinary education in aerospace engineering which forms the basis of a newly established field of study, responds to the demands of the European labour market. The new field of study will seek to develop student's knowledge of not only the principles of aircraft systems, but also the principles of aircraft engineering and space engineering. Since current aircraft systems are hybrid, integrated systems will be sought to develop a student's understanding of not only the principles of aircraft systems, but also the principles of aircraft engineering and space engineering. The Aeronautical and Aerospace Engineering has the ambition to represent a field of engineering focused on research, development, construction, testing, technology, safety and operation in aviation and space technology and cooperating ground systems and equipment. The introduction of this new field of study and the subsequent successful accreditation of the new study programs included under this field of study will allow the preparation of new job seekers for the labour market and will contribute to the declared effort of the Slovak Republic to keep pace with technological development in Europe. This is also supported by the fact that the European space-related research and market exploitation is worth 50 billion Euros and employs more than 230,000 people. The share of

European companies currently accounts 40% of the global commercial markets for the production and launch of satellites to space and the subsequent provision of satellite services.

The area of education in the given field of study also supports the efforts of the Slovak Republic to fully integrate into the European Space Agency (ESA). In the context of the Declaration on the European Space Policy Conference held on 23-24 January 2018 in Brussels named "More Space for More Europe", which devoted itself to the development of the European Space Strategy, Europe is the "space empire" from the view of research and space exploitation which accounts for approximately one fifth of the global space industry, and Slovakia certainly should not stand aside. The accreditation of this field of study will fully support this declaration.

## CONTENT OF THE FIELD OF STUDY

The new field of study Aeronautical and Aerospace Engineering includes sciences of non-living nature, science of living nature, science of constructions, technologies, materials and systems. It represents an area of engineering dealing with research, design, development, construction, testing, technology, safety and operation of aircraft and space equipment and cooperating ground systems and equipment.

Aeronautical and Aerospace Engineering began to develop as a recognized academic and scientific research activity at the beginning of the 20th century in connection with the rapid development of aviation technology which was also supported by the development of space technology in the mid-20th century. The further advancement of the Aeronautical and Aerospace Engineering has been greatly conditioned by the need for new technical, diagnostic and information systems, materials and technologies to enhance the safety, efficiency and quality of air transport and the use of space equipment. At present, Aeronautical and Aerospace Engineering is one of the most dynamically evolving industries which records continuous global qualitative and quantitative growth. This fact leads to the intensification of international cooperation in this field of study as well as in the framework of integrated scientific and pedagogical projects supported by the EU.

### **Definition of related study fields**

The affinity of the field of study that has a substantial impact on the new one can be defined in the area of transport, engineering, electronics, electrical engineering and computer sciences.

According to the existing system of fields of study in the SR it is possible to define also fields of study related to the Aeronautical and Aerospace Engineering field of study. They include existing fields of study: electronics, transport, engineering, engineering and materials, energy machines and equipment, transport machines and equipment, theoretical electrical engineering, telecommunication, mechatronics, measurement and measurement technology, information systems and applied informatics.

## REASONS FOR THE NEEDS OF THE FIELD OF STUDY: AERONAUTICAL AND AEROSPACE ENGINEERING

The global expansion of civil and military aeronautical and aerospace technology and of all related manufacturing and development sectors, everyday confirms a well-known fact that the areas in question not only complement each other but that their separate existence and development is almost impossible. A good example is AIRBUS known globally, in particular, as one of the largest civil aircraft manufacturers, but it is less known that it is one of the largest allies and supporters of the European Space Agency's most influential European space player of ESA (European Space Agency). Of course, each of these areas has its own specifics as e.g. the area of astronautics with increased demands on engineering due to environmental conditions, one-off missions and distances confirms the need to develop a new field of engineering such as aerospace engineering.

Reflecting on the above mentioned facts as well as the need for national harmonization of university education in the field of aerospace and technology and similar education in the European Union and the USA, the Faculty of Aeronautics of the Technical University in Kosice was the leader in aviation education in Slovakia in 2017 with the idea of initiating new study field Aerospace Engineering. This activity has also been supported by the fact that the field of study with the above-mentioned related space technology in the current valid structure of the fields of study in the SR has been missing. The field of aeronautical technology is currently covered by the joint field of study Transport 5.2.4 Motor Vehicles, Rolling Stock, Ships and Aircraft. However, a similar combination of study of means of transport does not exist at any of the foreign universities. Sometimes there has been a combination of motor and rail vehicles, but ships and aircraft are always studying separately. This is mainly due to the differences in design principles of individual means of transport, in particular ships and aircraft from land vehicles (motor and rail vehicles). This fact and verified experience from abroad has only confirmed the necessity to design this field of study in separate alternative branches.

Another non-negligible factor was that in 2015 Slovakia became an accession member of the European Space Agency (ESA) with which the Slovak Republic clearly declared its intention to develop space research as well as other activities related to the common European space policy. To achieve this goal, a new generation of professionals educated in a new study program should definitely help.

Taking into consideration the above-mentioned trends in the development of our society but also in support of processes and preparation of personnel for aviation and space technology for the needs of the Slovak Republic as well as the Single European Space, the Faculty of Aeronautics submitted a request for inclusion in the Ministry of Education, Science, Research and Sports of the SR with a description of the new field of study Aeronautical and Aerospace Engineering.

Another important stimulus for the emergence and introduction of the new field of study is the fact that in our national system of professions, the profession of engineer for aeronautical and aerospace engineering is not found because it is a new scientific discipline. Examples of aeronautical and aerospace engineering professions are just a few in the advanced countries in the world, Aerospace Engineer (Propulsion), Aerospace Engineer (Airframe), Structural Aerospace Engineer, Principal Aerospace Engineer.

In the European academic area, the issue is covered by a similar "Aerospace engineering" field of study at universities, Delft University of Technology, University of Sweden, University of Glasgow, Cranefield University, Superior Institute of Aerospace and Space, Technical University of Berlin, University of Stuttgart, Warsaw University of Technology, and universities in the USA, Penn State University, Ohio State University, University of Florida, University of Washington, North Carolina State University and Massachusetts Institute of Technology.

## DEFINITION OF THE GRADUATE PROFESSIONAL PROFILE

Graduates of a bachelor study program in the field of Aerospace Engineering should acquire basic knowledge of modern aeronautical and aerospace technology; control the principles and functions of their activities and the conditions of their operation. They should have knowledge of theoretical disciplines such as aerodynamics, applied mathematics, selected electronic, electro technical, instrumentation and engineering disciplines to understand the operation of technical means.

Graduates of an engineering study program should have knowledge of theoretical and practical aircraft and space engines, airframe and avionics systems in the context of understanding the purpose of aircraft flying. They should also be able to assess the functionality of both technical and computer-assisted equipment in the conditions of aeronautical equipment or other manufacturing facilities, repair facilities and special laboratories, and should also be able to communicate professionally with professional aeronautical personnel. They should be able to take part in investigating the causes of air accidents and disasters and to propose measures to prevent similar accidents.

Upon completing the engineering studies, the graduate gains adequate managerial skills focused on management in the field of technical provision of aeronautical and aerospace services, the production of aids and the quality of the use of information technologies. They should also be able to undertake conceptual and coordinating activities in international professional confrontation.

The graduates should be creative to approach interdisciplinary issues based on system engineering approaches. They should be able to independently analyse and propose theoretical and practical maintenance procedures for the application of both technical and computer-aided resources focused on specified tasks in air technology, air devices, production processes and other aeronautical and aerospace applications.

Graduates of a doctoral study program should use scientific methods of research and development in the field and demonstrate ability and readiness for independent creative and research activities in the given field of study. The graduates should be able to abstract scientific problems while studying professional literature, be prepared to form trends and concepts of development in technically and computer-aided aeronautical and aerospace constructions and technologies.

The graduates should acquire theoretical knowledge and understanding of the basic concepts, patterns and connections of the aeronautical and aerospace theory in such disciplines as: aerodynamics and flight mechanics, theory, design and management of flying means and their power units, application of CAE (Computer Aided Engineering) methods in designing, testing and diagnostics of aeronautical and aerospace technology, navigation systems of air and space technology. They gain a thorough knowledge of special aviation, engineering, avionics, information, communication and other technologies and their use in aviation and related areas of social life.

They learn the interdisciplinary nature related to applications of technical knowledge in air and space areas such as system research, measurement and measurement techniques on aircraft or space objects, advanced composite materials, air and space technologies and applied informatics in air and space operation, information retrieval and signal processing in the aviation and space field. They also find and present their own solutions of the interdisciplinary problems in research and development or in constructing of technical equipment in aeronautical and aerospace engineering. They can apply knowledge to solve projects in aviation and space practice creatively.

Based on acquired knowledge and skills, graduates in the first and second degree of study should be able to keep in touch with world developments and new trends in aeronautical and aerospace engineering on the basis of expertise studies.

### **Defining the core knowledge of the field of study**

The core topics of the knowledge of the field of study in the first and second degrees of university education are focused on the theory of basic natural sciences and technical subjects in accordance with the core knowledge of aeronautical and aerospace engineering studies.

They also focus on other special physical disciplines (principles of physical sensors, aerodynamic displaying, aerodynamics, aerospace design, propulsion units, avionics and airborne energy systems, aeronautical and aerospace materials and technologies, etc.).

Part of the core also includes subjects focused on special aeronautical, aerospace methods, technologies and resources with a reasonable alternative range of subjects according to the curriculum, such as:

- aeronautical and aerospace information, technical and navigational systems,
- sensors of aeronautical and aerospace systems,
- aircraft and spacecraft electronic systems,
- aircraft and spacecraft automatic control systems,
- aircraft and spacecraft instrumentation systems,
- spacecraft ground control systems,
- aircraft mechanisms and parts,
- theory, design, control and diagnostics of propulsion units,
- construction and strength of aviation and space technology,
- auxiliary and diagnostics systems of air and space technology,
- theory, construction and auxiliary aircraft systems,
- theory, construction and control of propulsion units,
- maintenance and aircraft repairs,
- air and space technologies and materials,
- special subjects for acquiring knowledge of aerospace technologies according to the study program,
- modelling and simulation of aerospace engineering systems,
- practice in aviation facilities and solving specific tasks within the project, as well as
- managerial knowledge (technical and economic, financial and management areas).

The core topics of the 3rd university education degree are bound to the broad interdisciplinary issues of the aeronautical and aerospace field of study, in which it develops the field in depth

to meet the profile of the graduate in the 3rd study degree with emphasis on the use of knowledge, techniques, air and space sciences.

The scientific part is focused on the research of the current scientific issues in the Aeronautical and Aerospace Engineering, and principles of scientific work, links in research, development, production, use, scientific formulation of a problem (technical assignment), legal, ethical and environmental aspects of new products, presentation of results of research work, contribution of scientific work for the further development of aeronautical and aerospace engineering field of study as well as for practice in aeronautical and aerospace areas and other related areas of transport and social life.

## THE FIELD OF STUDY DEGREES AND THE GRADUATES' CAREER OBJECTIVES

New study programs in the field of aeronautics and aerospace engineering will be studied in three degree university studies with a standard length of study programs for these degrees of university studies:

- the first degree of university studies (Bc.) with a standard length of study is 3-years, an external study is 4 years,
- the second degree of university studies (Ing.) with a standard length of study is 2 years, in an external form is 3 years,
- the third degree (PhD.) with a standard length of study is 3 years in full-time form, in an external form is 4 years.
- Graduates of Study Programs in the Field of Aeronautics and Aerospace Engineering should be able to undertake the following degree of university education:
- Bachelor in the field of Aeronautical and Aerospace Engineering (Aerospace Bachelor) – 1st degree of university education,
- Engineer in the field of Aeronautical and Aerospace Engineering (Aerospace engineer) - 2nd degree of university education,
- Philosophiae Doctor in Aeronautical and Aerospace Engineering – PhD. (Philosophiae doctor in aerospace engineering) – 3rd degree of university education.

Applicability of graduates should be primarily in the operation of aeronautical and aerospace technology, in the operation and design of diagnostic systems, in the production of technical aids in the field of air operations, maintenance and implementation of prescribed works at local and transnational level for the needs of a particular air or space operator, technical or repair workplace.

Graduates of the Bachelor's degree program will be able to continue the certification process in their further activities in the aeronautical industry thanks the EASA Part-66 certificate or work in air operation as mechanics.

Based on the acquired knowledge, graduates can independently work in the field of development and implementation of new hardware and software products for aeronautical and aerospace applications as well as in the development of new information systems in this field.

Graduates of a Ph.D. study program in aeronautical and aerospace engineering studies can work as stand-alone creative designers and developers of elements, modules, nodes and components

of aeronautical and aerospace technologies, as independent creative workers in the field of air and space software products and in the field of new information systems in these areas or as leaders of interdisciplinary research and design teams, capable of working in international research teams, in design, engineering and operational research.

The ultimate and most important goal of a university degree in a new study program is to prepare graduates to be applicable in practice as members of interdisciplinary teams in aviation and space engineering. Prepare them to be able to handle technical tasks on aircraft and space systems and their propulsion systems to behave professionally in all areas of their activities, with an emphasis on ethical standards in the area of their work contacts within manufacturing and maintenance facilities.

## CONCLUSION

The introduction of the new field of study will significantly contribute not only to the content but also to the formal adaptation of the university education of specialists in the Slovak academic area for aeronautical and aerospace technology. Future study and preparation of graduates of the new study program will be consistent with a unified approach to this specialization within universities in the EU but also in the USA. The implementation of this unified approach will also help building and partnering and exchanging experience through the Erasmus program or exchange programs and student activities within the existing network of European universities with PEGASUS (Partnership of European Group of Aeronautics and Space Universities). Upon completion of the study, this cooperation can continue in the next scientific and pedagogical work through the European platform for the support of research activities of European aviation universities, the EASN (European Aeronautics Science Network Association – Brussels).

The successful introduction of the new field of study of Aeronautical and Aerospace Engineering into the Slovak Republic's Study Branch is not only a successful conclusion of this process initiated by science and pedagogical staff at the Faculty of Aeronautics of the Technical University of Kosice, but undoubtedly, it is also the contribution of the Slovak academic team to the process of unification of access to the expansion process of research, development, and university education with a focus on aeronautical and aerospace technology throughout the European Union's academic area and eventually other advanced countries in the world.

REFERENCES

- [1] Portal VŠ. Študijný odbor: Letecké a kozmické inžinierstvo. Available on: <https://www.portalvs.sk/sk/studijne-odbory/zobrazit/50261>
- [2] Rozenberg, R., Szabo, S. (2015). Letecká terminológia a frazeológia. Technická univerzita Košiciach, Letecká fakulta, 2015, ISBN 978-80-553-0843-2
- [3] Szabo, S., Gavurová, B. (2011). Vplyv vývoja svetovej ekonomiky na rozvoj leteckej dopravy. In Aeronautika 2011, 20. - 21.10.2011, Herľany, Slovensko, Košice, TU, 2011, p. 1-6., ISBN 978-80-553-0758-9
- [4] Piľa, J., Kozuba, J., Šulej, R.(2016) New technologies in aircraft maintenance versus safety. In Zarzadzanie bezpiec-zenstwem panstwa - wyzwania i ryzyka. Warszawa, NWP, 2016, P. 553-563, ISBN 978-83-7726-117-0
- [5] Gallerova, B., Čekan, P. (2012). Additional education opportunities for flying personnel. In Acta Avionica. Vol. 14, no. 24, p. 473-477. - ISSN 1335-9479
- [6] Gavurová, B. (2011). Kritické aspekty vysokého školstva na Slovensku. In International Scientific Herald. Vol. 3, no. 2, p. 70-84. ISSN 2218-5348.
- [7] Hocko, M., Kolesár, J., Čekanová, A. (2007). Legislative aspects of civil aviation security and professional training of aviation personnel. In Acta Avionica. Vol. 9, no. 13, p. 67-72, ISSN 1335-9479
- [8] Piľa, J. et al. (2011). ICT in aviation engineering education. In Zeszyty Naukowe Politechniki, Śląskiej, Transport z. 70. No. 1848, 2011, p.75-82, ISSN 0209-3324
- [9] Indeed. Aerospace Engineering jobs. Available on: <http://www.indeed.com/q-Aerospace-Engineer-jobs.html>
- [10] Airbus. Defence and Space. Available on: <https://orionem.airbusdefenceandspace.com>
- [11] Honeywell. Aerospace. Available on: <https://aerospace.honeywell.com>

---

**AERONAUTICAL AND AEROSPACE ENGINEERING - ÚJ TANULMÁNYI SZAK A SZLOVÁK KÖZTÁRSASÁG SZAKTERÜLETEK RENDSZERÉBE**

*A cikk elemzi az „AERONAUTICAL AND AEROSPACE ENGINEERING” új tanulmányterület/tanszak létrehozásának okait, amely 2017-ben sikeresen bekerült Szlovákiai tanulmányi és szakterületek rendszerébe. A Kassai Műszaki Egyetem Légügyi Kar tagjai az európai munkaerőpiac jelenlegi követelményeire válaszként készítették az új tanulmányi programot. Ennek megfelelően a Kassa Műszaki Egyetem Légügyi Karának célja az lett, hogy bemutasson egy új tanulmányi programot, és 2018-ban be nyújtotta akkreditációra. A tanulmányi program sikeres akkreditációja lehetővé teszi számunkra, hogy új szakembereket készítsünk a munkaerőpiacon, és ezáltal hozzájáruljunk a Szlovák Köztársaság által bejelentett erőfeszítésekhez és egyaránt lépést tartsunk az európai technológiai fejlődéssel.*

**Keywords:** *Légügyi Kar, új szakterület, repülő mérnök, repülő és űrtechnológia Szlovákia*

---

---

Stanislav Szabo (PhD., MBA, LL.M)  
kari dékán, egyetemi docens  
Kassai Műszaki Egyetem  
Légügyi Kar  
[stanislav.szabo@tuke.sk](mailto:stanislav.szabo@tuke.sk)  
[orcid.org/0000-0003-1488-871X](https://orcid.org/0000-0003-1488-871X)

---

Stanislav Szabo (PhD., MBA, LL.M)  
Dean of the Faculty of Aeronautics, Associate professor  
Technical University in Košice  
Faculty of Aeronautics  
[stanislav.szabo@tuke.sk](mailto:stanislav.szabo@tuke.sk)  
[orcid.org/0000-0003-1488-871X](https://orcid.org/0000-0003-1488-871X)

---



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/267/45>



Nagy Imre

## LÉGKÖRI GÁZOKKAL TÁPLÁLT IONHAJTÓMŰVEK

DOI: 10.32560/rk.2019.1.17

*Az alacsony pályákon keringő mesterséges holdak, bár az alacsony pályamagasság miatt több feladatra is ideálisak lennének, csak korlátozottan alkalmazhatók, mert a légköri fékeződés gyors magasságvesztéshez, és így rövid élettartamhoz vezet. Az élettartammal kapcsolatos problémára a hajtóközégeként a felső légköri gázokat használó ionhajtóművek jelenthetik a megoldást, amelyek energiaszükségletét napelemek biztosíthatják. Ezek a hajtóművek 200 km körüli magasságokban lehetnek hatékonyak jelenleg, távlatilag pedig elképzelhető a működési magasság csökkentése akár 80 km-ig is. Jelen munkában áttekintjük az újfajta ionhajtóművek történetét, a velük szembeni elvárásokat, és megvizsgáljuk az alkalmazásuk lehetőségeit katonai, polgári, illetve tudományos téren egyaránt.*

**Kulcsszavak:** ion-torlósugarhajtómű, mesterséges holdak, földmegfigyelés, űrtávközlés, bolygó kutatás

### A MESTERSÉGES HOLDAK ÉLETTARTAMA

A műholdak élettartama több tényezőtől függ. Ezek közül a legfontosabb a fedélzeti rendszerek várható élettartama. Napjainkban ez hozzávetőlegesen 15 év. Szintén fontos tényező a pályamagasság. A légkör sűrűsége a magassággal exponenciálisan csökken, de alacsony pályákon még jelentősen módosíthatja a pályát hosszabb időtávon. Például 200 km körüli magasságú kezdeti pályáról (LEO) néhány hét vagy hónap elteltével annyit süllyed az űreszköz, hogy a légköri fékeződés hatására felizzik, és az egyre jelentősebbé váló aerodinamikai erők miatt darabjaira szakad a műhold. Ezzel szemben pl. a 35 786 km magas geostacionárius pálya (GEO) lényegében korlátlan ideig fennmaradhat.

A felső légkör sűrűsége a felszínihez képest extrém változásokat mutat. Ennek alapvető oka a sokkal alacsonyabb sűrűség. A fluktuációkat a fűtésben végbemenő változások okozzák. Vanak periodikus jellegű fluktuációk a Föld tengelyforgása miatt, illetve évszakos változások a tengely ferdesége miatt. Ezek mellett jelentős hatása van a Nap aktivitási ciklusa miatt a napállandóban bekövetkező változásoknak is. A naptevékenység, és így a napállandó jelenleg nehezen előrejelezhető kellően pontos napmodell hiányában. A felső légköri nyomást és hőmérsékletet a magasság függvényében az ún. CIRA-86 modell írja le [1] [2].

A felső légkörben a naptevékenység hatására bekövetkező sűrűségváltozások akár évekkel rövidíthetik a mesterséges égitestek élettartamát. A legismertebb az amerikai Skylab űrállomás esete, amelynek utolsó személyzete 1974 február 8-án távozott az űrállomásról. Saját hajtóművek, és így pályamódosítás híján a Skylab ettől kezdve folyamatosan süllyedt a kezdeti 433 és 455 km között húzódó pályáról, míg 1979 július 11-én le nem zuhant. Ez az időpont azonban jóval korábbra esett a becsült 1983 márciusánál [3].

A légköri fékeződés hatása kompenzálható a mesterséges égitest fedélzetén elhelyezett hajtómű segítségével, aminek a működéséhez viszont hajtóanyag is szükséges. Ez meglehetősen költséges megoldás, tekintve a magas, a műholdak árával összemérhető indítási költségeket. Célszerűnek

látszik magasabb pályára juttatni az űreszközt, mivel így kevesebb fedélzeti hajtóanyaggal is biztosítható ugyanaz az élettartam. Ugyanakkor a magasabb pálya kialakítása drágább is. További bonyolítja a helyzetet, hogy pl. egy távközlési műhold esetén sokkal nagyobb teljesítmény kell adott sebességű adatátvitel megvalósításához geostacionárius pályáról, mint alacsony pályáról. A nagyobb teljesítményhez nagyobb napelemek szükségesek, amelyek jelentősen növelik a műhold árát, valamint a tömegét, és így a pályára állítás költségeit is [4]. Cserében viszont magasabb pályán pár műhoddal is megvalósítható a felszín közel teljes lefedése (GEO: 3), míg alacsony pályán legalább több tucat szükséges, ám a jelenleg a megvalósulás küszöbén álló rendszerek tervezői ezres nagyságrendben gondolkodnak (1. táblázat).

A rendszer neve	Üzemeltető	Pályamagasság [km]	Műhold tömege [kg]	Műholdak száma	Hivatkozás
OneWeb	OneWeb	1200	150	648+1972	[5]
Starlink Constellation	SpaceX/Google	550	100-500	~12 000	[6]
?	Samsung	1400	?	4600	[7]

1. táblázat Néhány tervezett nagy műholdrendszer

A jelenleg szokatlanul soknak tűnő egységből összeálló rendszer előnye, hogy érvényesülhet a méretgazdaságosság hatása, azaz egy-egy műhold előállítási költsége a jelenlegi akár 200 millió \$-os ár 1-2%-ára is lecsökkenhet [4]. A OneWeb 2019 február 27-én pályára állított első műholdjainak az előállítása például 1 millió \$ volt, ami a későbbiekben feleződhet [8].

## IONHAJTÓMŰVEK MŰHOLDAKON

Mint az 1. táblázatból látható, a tervezett műholdrendszerek viszonylag magas pályákra kerülnek. Ennek oka, mint azt már említettük, az alacsony pálya fenntartásához szükséges nagy mennyiségű hajtóanyagból származó többletköltség. Ezek a rendszerek a jelenleg elterjedten alkalmazott kémiai hajtóművekkel nem tudnának gazdaságosan működni alacsony pályán.

A megoldást az ionhajtóművek jelenthetik. Ezen hajtóművek technológiáját az 1960-as évek óta fejlesztik, ám az első komoly alkalmazásra az ESA Artemis technológiai demonstrációs műholdján került sor 2001 július 12-én [9]. Az indítás nem sikerült tökéletesre, a műhold nem érte el a tervezett geostacionárius átmeneti pályát. Ez egy geostacionárius pályára szánt szokványos műholdnak a végleges elvesztését is jelentette volna, ám az Artemis fedélzetén kémiai helyett ionhajtóművet helyeztek el. Ennek segítségével, ha lassan is, de végül elérte a tervezett szolgálati pozíciót [9]. Az Artemis esete jelentősen ösztönözte az ionhajtóművek használatát geostacionárius távközlési műholdakon, mind a végleges pálya kialakítására, mind az időszakos pályakorrekciókra.

Az ionhajtóművek alkalmazására alacsony szolgálati magasságú műholdakon napjainkig bezáráson mindössze egyetlen esetre van példa. Ez részben annak köszönhető, hogy a polgári indítások elenyésző része irányul alacsony, ezer kilométer alatti pályákra. Az említett egyetlen eset az ESA GOCE nevezetű geodéziai műholdja, amelynek egyetlen feladata a Föld gravitációs terének, a geopotenciálnak a folyamatos nagy pontosságú mérése volt [10]. A szolgálati magassága 254,9 km volt, azaz jelentős légköri fékező erő hatott rá. Ennek hatását folyamatosan semlegesíteni kellett egyrészt pályamagasság megtartása miatt, másképp heteken belül visszatért volna a sűrűbb légrétegekbe az űreszköz. Másrészt a geopotenciál meghatározásához az űreszköz helyzetének és

sebességének a gravitációs erő hatására bekövetkező változásait kell nagy pontossággal mérni. Mivel a léggöri fékezés is sebesség-változást okoz, ezt korrekcióba kell venni. Figyelembe véve, hogy a tervezett élettartam 20 hónap volt, a két problémára a legjobb megoldásnak egy folyamatosan üzemelő ionhajtómű bizonyult. A műhold folyamatosan mérte a ráható fékezőerőt, és az ionhajtómű ennek megfelelő nagyságú, de ellentétes erővel kompenzálta azt. Így a szonda látszólag léggöri ellenállás nélküli pályán haladt, amíg el nem fogyott a hajtóanyagként használt xenon. Ez az indítás után ~4,5 évvel következett be. Ezt követően mindössze három héttel később a GOCE belépett a sűrűbb légrétegekbe.

A GOCE megsemmisülésekor a fedélzeti rendszerek és műszerek kifogástalan állapotban voltak, így ha még futotta volna a hajtóanyag-tartalékból, folytathatta volna a méréseket. Az adott élettartam biztosításához szükséges hajtóanyag mennyiségének meghatározása nehézségekbe ütközik a naptevékenység és így a felső léggör kiszámíthatatlansága miatt. A problémára kínáló egyik megoldás, hogy az ionhajtómű a fedélzeti hajtóanyag helyett a felső léggör gázait használja tolóerő létrehozásához, hasonlóan a repülőgépek sugárhajtóműveihez. Az elgondolás először 1995-ben bukkant fel Buford munkájában [4], ám feledésbe merült. Az ötlet 2003-ban merült fel újra Nishiyama tanulmányában [11].

## LEVEGŐVEL TÁPLÁLT IONHAJTÓMŰVEK

Buford a munkájában egy olyan hajtóművet ír le, amely egy egy méter élhosszúságú kocka alakú műholdat tudna állandó 200 km körüli magasságú pályán tartani [4]. A hajtómű legfontosabb része az abban a magasságban igen ritka léggöri gázok összegyűjtésére hivatott rendszer. Ez egy 15 m átmérőjű gyűrű, amelyben a belépő molekulákat ionizálni kell. Az ionizációt a gyűrű tengelyében elhelyezett katódból kilépő elektronok végzik. Az ionizáció hatásfokának növelése érdekében a gyűrűben homogén mágneses teret kell létrehozni, így az elektronok nem sugárirányban haladnak az anódként is szolgáló gyűrű felé, hanem spirális pályán. A gyűrűben keletkező ionok gyorsítása rácsok között történik. A gyorsítás után a kilépő ionokat semlegesíteni kell, amihez egy magas hőmérsékletre hevített katód szolgál a rácsok mögött. A számítások szerint a megfelelő tolóerő biztosítására mintegy 3 kW teljesítményű napelem szükséges.

Bufordéhoz hasonló alapokon nyugvó, azaz léggöri gázokat használó hajtóművet szabadalmaztatott a Busek Company Inc. Vlad Hurby vezetésével [12]. A szabadalmat jegyzők között található James Szabo, aki neve alapján magyar felmenők leszármazottja.

A Busek-féle megoldás legfontosabb eltérése a Buford-féletől, hogy míg az utóbbi átmérője és így a benne áramló közeg sűrűsége változatlan a hajtómű teljes hosszában, addig az előbbi tartalmaz egy kompressziós fokozatot is. Ez a nagy sebességű (~7,8 km/s) áramlás miatt fellépő torlónyomás segítségével hozza létre a kívánt kompressziót. Mint ilyen, leginkább egy hagyományos torlósugar-hajtóműre hasonlít, azzal a különbséggel, hogy itt nem kémiai üzemanyag elégetése hozza létre a tolóerőt, hanem a levegő ionizálásával nyert, elektromos térrel gyorsított ionok. Az ionokat gyorsító rész egy a Bufordénál bonyolultabb úgynevezett Hall-hatás hajtómű. A Busek-féle megoldás érdekessége, hogy a szerzők szerint 80 és 160 km közötti magasságban is alkalmazni lehetne a leírásuk szerinti konstrukciót.

A hajtóközegként levegőt használó ionhajtóművek az ESA érdeklődését is felkeltették. A koncepció életképességét egy 2007-ben megjelent tanulmányban vizsgálták meg [13]. Az eredmény annyira meggyőző lett, hogy megkezdték egy valós körülmények között is használható hajtómű fejlesztését. A munka 2017-ben vezetett eredményre, amikor is először próbálták ki egy légköri gázokat használó ionhajtóművet igaz, egyelőre csak laborban [14]. Maga a hajtómű a Busek-féle megoldáshoz hasonlít. A nagy sebességű levegőt a torlónyomás segítségével sűrítik, és terelik a Hall-hatás ionhajtómű ionizátorába. A hajtómű nem csak levegővel üzemelhet, hanem a fedélzeten tárolt xenonnal is.

### Levegővel táplált ionhajtóművekkel szembeni elvárások

Egy levegővel táplált ionhajtómű használata során több tényezőre is tekintettel kell lenni. Mindezek előtt az élettartama hosszabb kell legyen, mint a mesterséges égitest fedélzetén elhelyezett hasznos teher élettartama. Itt három korlátozó hatást kell megemlíteni. Egyrészt minden napelemmel táplált ionhajtómű közös problémája, hogy a Föld felső légkörében keringve annak magas oxigéntartalma miatti oxidáció következtében folyamatosan csökken a napelemek teljesítménye. Másrészt a Buford-féle elképzelésben az ionok gyorsítását rácsok végzik. Mivel az ionok egy része ahelyett, hogy a lyukakon át távozna, nekiütközik a rácsnak, a rács erodálódik. Ez a hatás a Hall-hatás hajtóműveknél nem lép fel, mivel ott a negatív elektróda szerepét mágneses térben foglyul ejtett elektronok töltik be. Végezetül pedig a kilépő ionok semlegesítésére szolgáló katód élettartama is korlátozott. Az elterjedten alkalmazott magas hőmérsékletre hevített elektródák folyamatosan párolognak, így idővel egyszerűen elfogynak.

Egy ilyen hajtómű alkalmazása céljából fakadóan képes kell legyen semlegesíteni az eszközre ható légköri súrlódást. A levegő sűrűsége a magassággal csökken, akárcsak a keringési sebesség. A kettő közül a sűrűség csökkenése a jelentősebb, mivel hozzávetőlegesen exponenciális függvény szerint megy végbe, míg a helyi első kozmikus sebesség a pálya sugarának négyzetgyökével fordítottan arányos. Mivel a pálya magasság a pálya sugarának és a Föld sugarának a különbsége, magasság változásából származó változás sokkal jelentősebb. Vagyis a súrlódási erő és a hajtóközeg sűrűsége is lényegében exponenciálisan csökken a magassággal. Hogy egy adott hajtómű milyen magasságban tudja stabilizálni az üreszköz pályáját, az attól függ, hogy az adott kialakítás milyen mértékben járul hozzá a légellenálláshoz. A fő problémát a napelemek jelentik, mivel a megfelelő tolóerő létrehozásához nagy felületű napelemekre van szükség, amelyek növelik az üreszköz közegellenállását. Kulcsfontosságú tehát a minél nagyobb hatásfokú napelemek használata. Segítséget jelenthet a műholdtest áramvonalazó kialakítása, amennyiben az adott feladatkör ellátása ezt lehetővé teszi.

Mivel a műholdak pályára állítása során alkalmazott rakétákon véges térfogat áll rendelkezésre az üreszköz elhelyezésére, a hajtómű vagy kellően kompakt, vagy pályára állítás után egyszerűen szétnyitható kell legyen. Ez a követelmény inkább a Buford-féle változatot érinti, mivel a beömlő nyílás egyben az ionizátor anódja is, amit egy ~15 000 menetes tekercs fog körül, de a gyorsítást végző rács átmérője is 15 m [4].

További lényeges szempont, hogy a hajtómű működése során keletkező elektromágneses sugárzás nem zavarhatja a fedélzeti rendszerek működését, illetve a kommunikációt. Az ionizátor mágneses térben elektronok mozognak spirális pályán, így sugároznak is. Ez főleg a Buford-

féle változatot érinti, mivel annál hiányzik a kompresszor fokozat, azaz nagyméretű az ionizátor, így nincs mód az árnyékolására. Ezzel szemben a Busek-féle Hall-hatás hajtómű viszonylag jól árnyékolható, mert összesűrített levegőt használ, és így kellően kompakt.

Meg kell említeni még, hogy mivel napelemek szolgáltatják az energiát, ideális esetben folyamatosan kell érnie őket a napfénynek. Ilyen úgynevezett napszinkron pályák létrehozhatók, ám nem minden feladathoz ideálisak. A probléma megkerülhető, ha elég nagy tolóerejű a hajtómű ahhoz, hogy a sötét időszakokban bekövetkező magasságsökkenést a világos időszakokban korrigálja. Megoldást jelenthet még nagy kapacitású akkumulátorok alkalmazása is.

### **Alkalmazási lehetőségek**

Egy hajtóközegként levegőt használó ionhajtómű alkalmazására több lehetőség kínálkozik, azonban ezekben van egy közös pont, nevezetesen, hogy az űreszközök alacsony pályán mozognak, ahol jelentős a légköri fékeződés hatása. Az első a már említett GOCE-hoz hasonló geodéziai célú műholdak. Az alacsony pálya miatt ezek az űreszközök érzékenyebbek a geopotenciál tér- és időbeli változásaira, ám a jelentős légellenállás miatt rendszeresen meg kell emelni a pályájukat. Az ESA számára fejlesztett, és 2017-ben sikeresen tesztelt hajtómű is várhatóan a GOCE utódján kap majd helyet [13] [14].

Amennyiben a felszínről szeretnénk nagy felbontású felvételeket készíteni, szintén előnyös lehet az alacsony pálya. Hátrányként említendő ugyanakkor, hogy így a látómezőbe a felszínnek kisebb darabja fér el. Ez azt jelenti, hogy egy nagyobb terület lefotózásához több keringés is szükséges lehet alacsony pályán, míg magasabbról ugyanaz a terület egyetlen felvétellel lefedhető. Ilyen műholdakat földmegfigyelő, illetve katonai felderítő céllal állítanak pályára.

Amennyiben a [12] szabadalomban említett 80-160 km működési magasságot sikerül megvalósítani, egy új, eddig elérhetetlen területet nyílna meg a tudományos vizsgálat számára. A jelenlegi eszközökkel ugyanis nem megoldott az ebben a tartományban végbemenő légköri folyamatoknak, illetve a légkör állapotának a monitorozása. Meteorológiai ballonokkal 40 km körüli magasságok érhetőek el, az e feletti tartományok csak rakétákkal, amelyek viszont működési elvükből adódóan csak percekig tudnak adatokat gyűjteni. Ugyanakkor egy tartósan 80 km magas pályán haladó, folyamatos meghajtást igénylő repülőeszköz elmossa az eddig egyértelmű határokat az űreszközök és a repülőgépek között. Ez nemzetközi jogi, illetve nemzetbiztonsági kérdéseket is felvethet különösen, ha katonai alkalmazásra is sor kerül. Az ilyen alacsony pályán működő hajtóművek megvalósításához azonban valószínűleg a jelenleg elérhetőnél lényegesen nagyobb hatásfokú napelemekre lenne szükség még áramvonalazó műholdtest esetén is, így csak távlatilag képzelhető el.

Várhatóan nagy jövő előtt áll a már említett új generációs távközlési műholdakon (pl. OneWeb, Starlink stb.) történő alkalmazás. Ezek viszonylag alacsonyan (~1000 km) keringenek, hogy kevés energiával is nagy sebességű adatátvitelt, illetve alacsony késleltetést lehessen elérni. E fontos jellemzők további javulását is el lehetne érni, ha még jobban le lehetne csökkenteni a keringési magasságot (pl. 200 km közelébe). Ebben segíthetnek az újfajta ionhajtóművek. Arról sem szabad megfeledkezni, hogy ha ezek a tervezett rendszerek kiépülnek, előbb-utóbb jelentősen meg fog nőni az űrszemét mennyisége. Ha a keringési magasság ~200 km, akkor ez a

probléma sokkal kevésbé jelentkezik, mert a működésképtelenné váló műholdak heteken belül elhagyják a keringési pályát.

További, első sorban katonai alkalmazásra ad lehetőséget, hogy ezeknek a hajtóműveknek a segítségével elérhető a pályaelemek jelentősebb módosítása is. Így elérhető a műhold indítása után kialakuló konfliktuszónák megfigyeléséhez ideális (vagy azt közelítő) pálya kialakítása. Korlátként jelentkezik, hogy ezek a pályamódosítások (pl. a pályahajlás megváltoztatása) akár hónapokat is igénybe vehet. Cserében viszont olcsóbb, mint egy új űreszköz pályára állítása, hiszen csak egy már pályán lévő eszköz kap új feladatot.

Távlatilag, első sorban a napelemek hatásfokának javulásával lehetőség nyílna magasabb pályákra szánt űreszközök indítási költségeinek csökkentésére. A rakéta egy kezdeti alacsony pályára juttatná a műholdat, majd a pálya földközelpontjában működtetve az ion-torlósugarhajtóművet a földtávolpont folyamatosan emelhető a kívánt szintre. A további manőverekhez már a fedélzeti hajtóanyagot kell használni. Hátrány, hogy így hónapokig tarthat elérni a kívánt pályát, viszont jelentősen csökkenhetnek a költségek. Nagyban segítene pl. egy űrnaperőmű megépítésében, amely költségeinek jelentős részét teszi ki a pályára állítás [15]. Ugyanakkor szükség lehet a létrejövő, és hónapokig fennálló elnyúlt pályák nagy pontosságú modellezésére is amelyre [16] mutat egy lehetséges megoldást.

Nagy távlatokat nyitnak a légköri gázokat használó ionhajtóművek a bolygó kutatásban is, hiszen nem csak a földi légkör alkotóelemeivel működhetnek [17]. Napjainkban a legintenzívebben kutatott bolygó a Mars, amelynek számottevő légköre is van. A Busek-féle MABHET hajtómű használatát is első sorban Mars-szondákon képzelik el. A Mars ugyanakkor nem az egyetlen lehetséges célpont. Ugyanez a napelemes rendszer egy az egyben működőképes a Vénusz-nál is. A Naprendszer távolabbi vidékein is találunk alkalmazási lehetőséget, de az energiaforráson változtatni kell. A napelemek űrszondák energiaellátására történő alkalmazásának a háttára jelenleg a Jupiternél húzódik. Az újfajta ionhajtóművek igényeinek azonban már ebben a távolságban nem felelnek meg, mert az adott felületből nyerhető teljesítmény a földinek mindössze 1/27-e. Ebben a távolságban már nukleáris energiaforrás (radioisotope thermoelectric generator, RTG – radioaktív izotópos termoelektromos generátor) használata szükséges. Az alkalmazáshoz számításba kell venni, hogy az RTG-kben jelenleg alkalmazott Pu-238 izotóp teljesítménysűrűsége 570 W/kg, amit hő formájában ad le. A hő elektromos árammá alakításának hatásfoka kritikus tényező. Jelenleg az alacsony hatásfok miatt ~5 W/kg elektromos teljesítmény-sűrűség érhető el [18]. Ez azt jelenti, hogy egy ~3 kW elektromos teljesítményű RTG tömege mintegy 600 kg lenne. Az ionhajtóműves szondákon történő alkalmazáshoz javítani kell az energiaátalakítás hatásfokát.

A bolygó kutatató szondákon alkalmazott vegyes üzemű RTG energiaforrású ionhajtóművek nagy előnye, hogy útközben is működhetnek, mert az RTG-k folyamatosan szolgáltatnak energiát. Így az űreszköz hamarabb érhet célhoz, és nagyobb lehetne a hasznos tömege is mint a jelenlegi technológiák alkalmazásával, illetve csökkenhetnek az indítási költségek. Cserében viszont csökken a hajtómű élettartamából a cél égitest felderítésére fordítható rész.

### *Lehetséges cél égitestek és feladatok*

A lehetséges célpontok közös jellemzője, hogy számottevő légkörrel kell rendelkezzenek. Ezek név szerint a Vénusz, Mars, Jupiter, Szaturnusz, Uránusz és a Neptunusz. A bolygók mellett a jelentősebb légkörrel rendelkező holdjaik is megfelelnek. Ezek a Titan és a Triton. A kis- és törpebolygók közül az egykor bolygónak tekintett Plútó is szóba jön.

A bolygókutatásban három alkalmazási terület azonosítható. Egyrészt akár csak a Föld esetében a cél égitest légkörének, felszínének (amennyiben létezik) valamint a belső felépítésének vizsgálata. Bár ezek közül mindegyik tanulmányozható magasabban húzódó pályákról is, alacsonyabb-ról nagyobb felbontású felvételek készíthetők, illetve pontosabb mérések végezhetők.

A másik lehetőség, hogy első sorban a bolygók és a Plútó körüli térség vizsgálata során a légköri gázok használatával, ha lassan, fokozatosan is, de változtatható a pályasík, a fél nagytengely és az excentricitás. Ez főleg kiterjedt holdrendszerek esetén lehet hasznos.

A harmadik alkalmazás a célégitest körüli kezdeti nagy excentricitású pályáknak a mérések megkezdéséhez szükséges pályák kialakítása. Ez általában jelentős fékezést igényel, amit hagyományosan a fedélzeti üzemanyag elégetésével érnek el. Újabban kiaknázásra kerül a bolygók felső légkörének fékező hatása is, ami azonban a szonda szerkezetének, első sorban a napelemszárnyaknak a mechanikai terhelését is jelenti. Ezt a terhelést csökkentheti, ha egy ionhajtómű rásegít a légköri súrlódás fékező hatására. Ugyanakkor fékezésre használni egy légköri gázokat használó ionhajtóművet nem triviális feladat. A legegyszerűbben a Buford-féle megoldással kivitelezhető, mivel ott elég az ionok gyorsítására szolgáló rácok polaritásának felcserélése. A Hall-hatás hajtóművek esetén azonban a polaritáscsere elvi okokból nem kivitelezhető.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az alacsony pályákon keringő mesterséges holdak, bár az alacsony pályamagasság miatt több feladatra is ideálisak lennének, csak korlátozottan alkalmazhatók, mert a légköri fékezés gyors magasságvesztéshez, és így rövid élettartamhoz vezet. Az élettartammal kapcsolatos problémára a hajtóközegként a felső légköri gázokat használó ionhajtóművek jelenthetik a megoldást, amelyek energiaszükségletét napelemek biztosíthatják. Ezek a hajtóművek 200 km körüli magasságokban lehetnek hatékonyak jelenleg, távlatilag pedig elképzelhető a működési magasság csökkentése akár 80 km-ig is. A megvalósíthatóság szempontjából kulcskérdés a minél nagyobb hatásfokú napelemek kifejlesztése, alkalmazása. Előnyt jelent az áramvonalazó kialakítású, alacsony légellenállású műholdtest. A Buford-féle hajtóműnél megoldandó a nagyméretű hajtómű kis térfogatba történő összehajtogatása, illetve a pályára állítás utáni kibontása.

Az első alkalmazás geodéziai műholdakon várható, de a marsi alkalmazás lehetőségét is kutatják. További alkalmazási területként azonosítottuk a földmegfigyelő műholdakat, mind polgári, mind katonai téren, mivel alacsony pályáról adott optikával nagyobb felbontás érhető el, bár cserében csökken az egy felvétellel lefedhető terület nagysága.

Napjainkban születőben van a távközlési műholdrendszerek egy új generációja, amelyek viszonylag alacsony, ~1000 km körüli pályákon működnek, és sok ezer tagból állnak. A működési magasság csökkentése növeli az elérhető adatátviteli sebességet, és csökkenti a késleltetést. Ezeknek

a rendszereknek hátulütője, hogy a nagyszámú műhold a hasznos élettartam végeztével úrszemétté válik, és egyre növekvő zsúfoltságot teremtenek a népszerűvé váló magasságtartományban. Az újfajta ionhajtóművekkel pályán tartott műholdak esetében ez a probléma nem jelenik meg, mert a hajtómű leállása után 1–2 hónapon belül visszahullanak a felszínre.

Távlatilag elképzelhető a pálya jelentősebb módosítása is ezekkel a hajtóművekkel. Ez először katonai műholdakon kerülhet alkalmazásra. A módszer továbbfejlesztésével geostacionárius pályára szánt mesterséges holdak indítási költségei is csökkenthetők oly módon, hogy a kezdeti alacsony pályából fokozatosan alakítják ki a geostacionárius átmeneti pályát. A végleges pálya kialakítása már a fedélzeti hajtóanyag felhasználásával kell folytatódjon.

A bolygó kutatásban is tág tere van az alkalmazásnak. Jelenleg folyik a Mars körüli pályára szánt MABHET hajtómű fejlesztése. Ugyanez a megoldás használható a Vénusznál is. Távolabbi célpontok esetén a napelemek már nem adnak elegendő energiát, így radioizotópos energiaforrásokat kell alkalmazni. Jelen pillanatban azonban nem állnak rendelkezésre megfelelő energiasűrűségű RTG-k. Az energiaellátással kapcsolatos probléma megoldása esetén a szóba jövő további célégitestek a Jupiter, Szaturnusz és Titan holdja, Uránusz, Neptunusz és Triton holdja, valamint a Plútó.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] COSPAR International Reference Atmosphere: 1986 (0 km to 120 km), e-dok, url: <http://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/atmos/cospar1.html>
- [2] COSPAR International Reference Atmosphere (CIRA-86): Global Climatology of Atmospheric Parameters, e-dok, url: <http://badc.nerc.ac.uk/data/cira/>
- [3] SP-4208 LIVING AND WORKING IN SPACE: A HISTORY OF SKYLAB, e-dok, url: <https://history.nasa.gov/SP-4208/ch19.htm>
- [4] C. R. Buford, Utilization of ambient gas as a propellant for low earth orbit electric propulsion, Massachusetts Institute of Technology. Dept. of Aeronautics and Astronautics, 1995, url: <http://hdl.handle.net/1721.1/31061>
- [5] OneWeb satellite constellation, Wikipedia, e-dok, url: [https://en.wikipedia.org/wiki/OneWeb\\_satellite\\_constellation](https://en.wikipedia.org/wiki/OneWeb_satellite_constellation)
- [6] Starlink (satellite constellation), Wikipedia, e-dok, url: [https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink\\_\(satellite\\_constellation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink_(satellite_constellation))
- [7] F. Khan, Mobile Internet from the Heavens, arXiv, e-dok, url: <https://arxiv.org/abs/1508.02383>
- [8] <https://spacenews.com/first-six-oneweb-satellites-launch-on-soyuz-rocket/>
- [9] R. Killinger, R. Kukies, M. Surauer, A. Tomasetto, L. van Holtz: ARTEMIS orbit raising inflight experience with ion propulsion, Acta Astronautica, 2003/53 pp. 607-621 DOI: [https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(03\)80022-X](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(03)80022-X)
- [10] GOCE, url: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Operations/GOCE](http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/GOCE)
- [11] K. Nishiyama: Air Breathing Ion Engine Concept, 54th International Astronautical Congress of the International Astronautical Federation, the International Academy of Astronautics, and the International Institute of Space Law, International Astronautical Congress, Bréma, Németország, 2003, url: <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.IAC-03-S.4.02> DOI: <https://doi.org/10.2514/6.IAC-03-S.4.02>
- [12] V. Hurby, B. Pote, T. Brogan, K. Hohman, J. Szabo, P. Rostler: Air breathing electrically powered hall effect thruster, US6834492B2, url: <https://patentimages.storage.googleapis.com/b4/32/e2/a3b044de0baef4/US6834492.pdf>
- [13] D. Di Cara, J. Gonzalez del Amo, A. Santovincenzo, B. Carnicero Dominguez, M. Arcioni, A. Caldwell, I. Roma: RAM Electric Propulsion for Low Earth Orbit Operation: an ESA study, The 30th International Electric Propulsion Conference, Florence, Italy, September 17-20, 2007, url: [http://erps.spacegrant.org/uploads/images/images/iepc\\_articledownload\\_1988-2007/2007index/IEPC-2007-162.pdf](http://erps.spacegrant.org/uploads/images/images/iepc_articledownload_1988-2007/2007index/IEPC-2007-162.pdf)



- [14] T. Andreussi, G. Ciafali, V. Gianetti, A. Piragino, E. Ferrato, A. Rossodivita, M. Andrenucci: The 35th International Electric Propulsion Conference Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, USA, October 8–12, 2017, url: [https://iepc2017.org/sites/default/files/speaker-papers/iepc-2017-377\\_ram\\_final.pdf](https://iepc2017.org/sites/default/files/speaker-papers/iepc-2017-377_ram_final.pdf)
- [15] Nagy Imre: Naperőművek Föld körüli pályán, Repüléstudományi Közlemények 2018/2, pp. 67-73, url: [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018\\_2/2018-2-06-0466\\_Nagy\\_Imre.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018_2/2018-2-06-0466_Nagy_Imre.pdf)
- [16] Nagy Imre, Érdi Bálint: Numerical investigation of the orbit of Interball-1, Astronomische Nachrichten, 2007/328, pp. 793-796 DOI: <https://doi.org/10.1002/asna.200710811>
- [17] Kurt Hohman, Vladimir Hruby, Bruce Pote, Lynn Olson, James Szabo, Peter Rostler, Hani Kamhawi: Atmospheric Breathing Electric Thruster for Planetary Exploration, NASA Innovative Advanced Concepts Spring Symposium March 27-29, 2012, e-dok, url: [https://www.nasa.gov/pdf/636899main\\_Hohman\\_Presentation.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/636899main_Hohman_Presentation.pdf)
- [18] Radioisotope thermoelectric generator, Wikipedia, e-dok, url: [https://en.wikipedia.org/wiki/Radioisotope\\_thermoelectric\\_generator](https://en.wikipedia.org/wiki/Radioisotope_thermoelectric_generator)

---

### AIR-BREATHING ION ENGINES

*Even if artificial satellites circulating on low Earth orbits are ideal for multiple tasks due to low elevation, they can only be used to a limited extent, because atmospheric braking leads to rapid loss of height and thus short lifetime. The ion thrusters using upper atmospheric gases can be the solution for the lifetime problem. The power can be provided by solar cells. These engines can be effective at altitudes of around 200 km, and in the future it is possible to reduce the operating height down to 80 km. In this work, we review the history of the new types of ion engines and their expectations, and examine their application in military, civilian and scientific fields.*

**Keywords:** *air-breathing electric propulsion, artificial satellites, Earth imaging, space-based telecommunications, planetology*

---

Nagy Imre (PhD)  
Egyetemi adjunktus  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Logisztikai Intézet  
Természettudományi Tanszék  
[nagy.imre@uni-nke.hu](mailto:nagy.imre@uni-nke.hu)  
[orcid.org/0000-0002-0545-4381](https://orcid.org/0000-0002-0545-4381)

Imre Nagy (PhD)  
Senior Lecturer  
National University of Public Service  
Faculty of Military Science and Officer Training  
Institute of Military Logistics  
Department of Natural Sciences  
[nagy.imre@uni-nke.hu](mailto:nagy.imre@uni-nke.hu)  
[orcid.org/0000-0002-0545-4381](https://orcid.org/0000-0002-0545-4381)

---



<http://journals.uni-nke.hu/index.php/reptudkoz/article/view/264/46>

