



PHOTO: TOPIDOC



# REPÜLÉSTUDOMÁNYI SZEMELVÉNYEK 2018





# **REPÜLÉSTUDOMÁNYI SZEMELVÉNYEK 2018**

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

**ISBN 978-615-5945-09-0 (elektronikus)  
ISBN 978-615-5945-08-3 (nyomtatott)**



© A Szerzők 2018

© Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet

**Szerkesztő:**

**dr. Szilvássy László, PhD**

Nemzeti Közszolgálati Egyetem/National University of Public Service

**Lektorok:**

**dr. Békési Bertold, PhD**

Nemzeti Közszolgálati Egyetem/National University of Public Service

**dr. Kavas László, PhD**

Nemzeti Közszolgálati Egyetem/National University of Public Service

**prof. dr. Makkay Imre, CSc**

Nemzeti Közszolgálati Egyetem/National University of Public Service

**prof. dr. Padányi József, DSc**

Nemzeti Közszolgálati Egyetem/National University of Public Service

**dr. Palik Mátyás, PhD**

Nemzeti Közszolgálati Egyetem/National University of Public Service

**prof. dr. Pokorádi László, PhD**

Óbudai Egyetem/Óbuda University

**A REPÜLÉSTUDOMÁNYI SZEMELVÉNYEK 2018** című könyv a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet, által évente legalább egy alkalommal kiadott, repüléstudományi tematikus kiadványa.

#### MEGJELENÉS

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

**Kiadó:** Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet

**Kiadásért felelős:** dr. Palik Mátyás ezredes, PhD

**Szerkesztőség címe:** 5008 Szolnok, Kilián út 1.

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

**Telefon:** +36-56-510-535

**e-mail:** RepTudKozl@uni-nke.hu

**HU ISBN 978-615-5945-09-0 (elektronikus)**

**HU ISBN 978-615-5945-08-3 (nyomtatott)**

Borítón található fényképet Dr. Toperczer István készítette

## TARTALOM

---

<b>Előszó</b>	<b>7</b>
<b>Horváth József</b> <b>A repülés elektronikai zavarás elleni védelme</b>	<b>9</b>
<b>Varga Béla</b> <b>Gázturbinás hajtóművek optimális munkapontjainak vizsgálata a számítástechnika segítségével</b>	<b>25</b>
<b>Juhász László</b> <b>Az Ipar 4.0 jellemzői, technológiáinak hatása a repülőgépiparra</b>	<b>53</b>
<b>Novoszáth Péter</b> <b>A regionális repülőterek szerepe és fejlődése Magyarországon</b>	<b>79</b>
<b>Szilvássy László</b> <b>Meteor rakéta</b>	<b>119</b>
<b>Márton Andrea</b> <b>A finn légierő története II.rész</b>	<b>143</b>

## SZERZŐK

---

Horváth József (MSc)  
doktorandusz  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Katonai Műszaki Doktori Iskola  
horvath0101@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-2743-3522

Horváth József (MSc)  
PhD Aspirant  
National University of Public Service  
Doctoral School of Military Engineering  
horvath0101@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-2743-3522

Juhász László, MSc  
okleveles gépészmérnök  
Óbudai Egyetem  
j.laszlo92@stud.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-0700-5010

Juhász László, MSc  
Mechanical engineer  
Obuda University  
j.laszlo92@stud.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-0700-5010

Márton Andrea PhD  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
andrimarton@gmail.com  
martonandrea@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-4216-4797

Márton Andrea PhD  
National University of Public Service  
andrimarton@gmail.com  
martonandrea@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-4216-4797

Novoszath Péter (CSc)  
Egyetemi docens  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Államtudományi és Közigazgatási Kar

Közpénzügyi Kutatóintézet  
Novoszath.Peter@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-8755-6858

Peter Novoszath (PhD)  
Associate professor  
National University of Public Service  
Faculty of Science of Public Governance and Administration

Research Institute of Public Finance  
Novoszath.Peter@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-8755-6858

Dr. Szilvássy László  
alezredes, egyetemi docens  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Repülő Intézet  
Fedélzeti Rendszerek Tanszék  
szilvassy.laszlo@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-0455-4559

Szilvássy László, PhD  
Lieutenant Colonel, Associate Professor  
National University of Public Service  
Faculty of Military Science and Officer Training  
Institute of Military Aviation  
Department of Aircraft Onboard Systems  
szilvassy.laszlo@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-0455-4559

Varga Béla (PhD)  
Egyetemi docens  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Repülő Intézet  
Sárkány-hajtómű Tanszék  
varga.bela@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0003-3454-0825

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

## SZERZŐK

---

## SZERZŐK

---



### ELŐSZÓ

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

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

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

A Repüléstudományi Szemelvények címmel 2016-ban elindított sorozatunkkal elsődleges célunk az, hogy hírt adjunk az adott évben a repülés- és a hozzá szorosan kapcsolódó területeken folyó tudományos-kutatások irányairól. E mellett teret kívánunk adni tehetséges fiatal oktatóknak, kutatóknak, hallgatóknak publikációs lehetőségeik kiterjesztéséhez, ezáltal a tudományos tevékenység népszerűsítéséhez és mind szélesebb olvasóközönség figyelmének felkeltéséhez.

2018. évi számunkban szereplő írások információt adnak repülés elektronikai zavarás elleni védelméről, a modern gázturbinás hajtóművek optimális munkapontjainak számítástechnika módszerekkel történő vizsgálatáról, az Ipar 4.0 jellemzőiről, és annak a repülőgépiparra gyakorolt technológiai hatásairól, a hazai regionális repülőterek szerepéről és fejlődéséről, a Meteor rakétáról és a következő fejezetet a finn légierő történetéről.

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

Ez úton is köszönöm a kiadvány szerzőinek és szerkesztőinek munkáját, mellyel hozzájárultak a sorozat 2018. évi kötetének összeállításához.

Szolnok, 2018. november 30.

Dr. Palik Mátyás  
igazgató



## A REPÜLÉS ELEKTRONIKAI ZAVARÁS ELLENI VÉDELME

*A cikk a „Repülőterek, mint kritikus infrastruktúra, védelme az elektronikai zavarás vonatkozásában” című kutatásom része. Korábbi cikkemben már bemutattam, hogy a valós életben számos elektronikai zavarási incidens történt a repülés vonatkozásában. Ebben a cikkben a repülésirányítás és a repülőterek üzemeltetése során alkalmazott, a frekvenciaspektrum alkalmazásán alapuló eszközök elektronikai zavarhatóságával és a lehetséges védelmi megoldásokkal foglalkozom. Célom, hogy a feltárt eredmények felhasználásával a polgári repülésben is alkalmazható védelmi megoldásokat keressek, javaslatokat tegyek azok alkalmazására.*

**Kulcsszavak:** kritikus infrastruktúra, repülés, elektronikai zavarás

### BEVEZETÉS

A cikk a „Repülőterek, mint kritikus infrastruktúra, védelme az elektronikai zavarás vonatkozásában” című, az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3-IV-NKE-16 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült kutatásom része. Korábbi cikkeimben foglalkoztam a repülőterekkel, mint kritikus infrastruktúrával [1], illetve vizsgáltam az elektronikai zavarás valós eseteit [2].

Az elektronikai zavarás problémája két okból fontos. Az egyik ok az, hogy az elektronikai zavarás bármilyen jellegű (polgári személy általi, katonai, rendvédelmi) alkalmazása a polgári repülőterek, repülésirányítás működését jelentősen befolyásolhatja, annak biztonságát veszélyeztetheti. A másik ok pedig az, hogy – mint az a bemutatásra kerülő példákon keresztül is látható lesz – az interneten számos oldalon rendelhető elektronikai zavaró eszköz polgári személyek által is.

A fentiek miatt mindenképpen fontos a védelem kérdéseivel is foglalkozni, figyelembe véve azt, hogy egy-egy eset megtörténte nem tűnik jelentős problémának, azonban egy utasszállító gép esetében jelentős lehet az áldozatok száma, amennyiben elkerülhetetlenné válik a katasztrófa.

A cikkben alapvetően a polgári repüléssel kapcsolatban teszek megállapításokat. Ennek egyik oka az, hogy a katonai rendszerek általában védettek, másrészt pedig az, hogy a katonai rendszerek esetleges zavarása nem nyilvános információ.

Az első fejezetben néhány valósan megtörtént esetet ismertetek, a további fejezetekben pedig a polgári repülésben alkalmazott frekvenciák felfedésével/megismerésével foglalkozom, vizsgálom az elektronikai zavaróeszközökhöz történő hozzájutás lehetőségeit, ezt követően pedig a lehetséges védelmi megoldásokra teszek javaslatokat.

### AZ ELEKTRONIKAI ZAVARÁS VALÓS ESETEI

Az alábbiakban néhány esetet szeretnék bemutatni, azt illusztrálva, hogy nemcsak elméleti problémával állunk szemben. Ezen incidenseket a Repüléstudományi szemlében megjelent, „A repülés elektronikai zavarásának valós esetei” című cikkemben részletesen bemutattam [2].

A Légi Közlekedési Biztonsági Jelentési Rendszer<sup>1</sup> adatbázisában a „jamming” (zavarás) kereső szó alkalmazásával korábbi vizsgálatom során 141 találatot kaptam, melyekből a legelső egy 1989. januári, a legutóbbi pedig egy 2017. októberi bejegyzés volt. Az eredményként kapott találatok közül nem mindegyik kapcsolódik az elektronikai zavaráshoz, van, amelyik esetében ismeretlen a kiváltó ok, illetve található olyan is, amelyek esetében két, egyéb rendszer közötti interferencia volt a probléma [3].

2007-ben egy hadgyakorlat során a haditengerészet nem szándékosan, de zavarta a GPS jeleket San Diego kikötője közelében. A repülőtér repülésirányítói nem tudták a repülőgépeket követni monitoraikon, de a zavarás akadályozta más infrastruktúrák működését is, köztük egy Egészségügyi Központot, bankokat, illetve a mobiltelefonok alkalmazását. A fenti jelenségeket több alkalommal észlelték. Három napig tartott, míg sikerült megtalálni a probléma okát, kettő hadihajó gyakorlatot hajtott végre, melynek során a katonai rádiófrekvenciák mellett a GPS jeleket is zavarták [4] [5].

A newark-i Liberty repülőtér működésében kettő különböző alkalommal is problémát okozott a zavaróeszközök alkalmazása. 2009-ben és 2012-ben is alkalmazta ezen eszközöket egy-egy kamionsofőr a repülőtér közelében, mellyel a gépjárművekben lévő NAVSTAR GPS jeladó zavarásával próbáltak munkaadójuk elől elrejtőzni. Miközben naponta elhaladtak a repülőtér mellett, zavarták annak rendszereit is [6] [7]. A zavaróeszközöket azonban alkalmazhatják például az autótolvajok is, akik így elnyomhatják a gépjármű helyzetét továbbító gépjárművédelmi eszközök működését.

2012-ben a bejelentések alapján Észak-Korea több alkalommal zavarta a navigációhoz szükséges globális helymeghatározó műhold rendszer (továbbiakban GNSS<sup>2</sup>) jeleit, amellyel több száz repülőgép repülését, navigációját nehezítette meg. Szerencsére ezen incidens során sem történt baleset. 2016-ban a kairói repülőtér környezetében tapasztaltak zavarást ismeretlen forrásból [8]. 2017-ben az indonéziai elnök, Joko Widodo hong kong-i látogatása során – önvédelmi célból – rádió-távírányítású improvizált robbanóeszközök<sup>3</sup> ellen tervezett elektronikai zavaróeszközt használtak, amely zavarta a polgári repülésirányítás frekvenciáit [9].

Mint a bemutatott esetekből is látható, számos alkalommal fordult elő ilyen eset, amelyek azonban gondatlanságból, figyelmetlen alkalmazásból erednek, nem kimondottan támadó célú alkalmazásból, terrorista szándékkal. Feltehetően voltak további esetek is, melyekről nem készült bejelentés vagy feljegyzés.

A Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér vonatkozásában a HungaroControl Zrt. rádió-kommunikációs szakreferensétől kapott válasz alapján a meghibásodott műszaki eszközök által okozott zavartatás mellett *„volt példa az elmúlt években ettől eltérő zavarásra is, melynek során valaki zenét sugárzott légiforgalmi sáv egy általuk használt frekvenciáján. A zavartatás néhány percig tartott, mivel az adás azonosító információt (adóállomás hívőjelet) nem tartalmazott, a szándékos gyanúja is felmerült. Ugyancsak tipikus problémának tekinthető a 121,500MHz vészhelyzeti frekvencia foglalása véletlenül vagy műszaki hiba miatt bekapcsolt vészhelyzeti jeladó*

---

<sup>1</sup> Az amerikai kormányzat, az amerikai repülési szervezetek és cégek, valamint a repülésben dolgozó személyek (pilóták, légiirányítók stb.) által üzemeltett, 1976-ban létrehozott rendszer. Aviation Safety Reporting System, ASRS

<sup>2</sup> Global Navigation Satellite Systems, GNSS.

<sup>3</sup> RCIED, Radio controlled improvised Explosive Device

miatt. A frekvenciák zavartatása sok esetben a földön nem tapasztalható, csak a repülőgépek személyzete jelzi a problémát. A bejelentések a műszaki üzemeltető személyzet üzemi naplójában kerülnek rögzítésre, ezek nem nyilvános dokumentumok. Szerencsére a zavartatási jelenségek ritkák és eltérő jellegűek voltak az elmúlt években.,, [10]

### ELEKTRONIKAI ZAVARÁSSAL AKADÁLYOZHATÓ/TÁMADHATÓ, A REPÜLŐTEREKEN ÉS A REPÜLÉSIRÁNYÍTÁSBAN ALKALMAZOTT, A FREKVENCIASPEKTRUMOT ALKALMAZÓ RENDSZEREK FELFEDÉSE

Az elektronikai zavarás az elektronikai hadviselés<sup>4</sup> részét képező elektronikai ellentevékenységi funkció egyik eleme. A Magyar Honvédség Összhaderőnemi Elektronikai Hadviselés doktrínája szerint az elektronikai zavarás az „*elektromágneses energia szándékos kisugárzása, visszasugárzása vagy visszatükrözése azzal a céllal, hogy korlátozza vagy megakadályozza az ellenség által használt elektronikai eszközök, berendezések és rendszerek rendeltetésszerű működését.*” [11]

Amikor a repülőterek – mint kritikus infrastruktúra – működését és támadhatóságát elemezzük, széles körben kell vizsgálódnunk, nemcsak a kimondottan a repüléssel kapcsolatos rendszereket kell vizsgálnunk, hanem a különböző támogató rendszereket is. Véleményem szerint ennek az az oka, hogy a működés során több olyan alrendszer van, amelynek kiesése, dominó elven működve, más alrendszereket is üzemképtelenné tehet, jelentős veszélyeket hordozva magában.

A fentiek alapján az alábbi rendszereket kell figyelembe vennünk, mint az elektronikai zavarás szempontjából lehetséges célpont:

→ kommunikációs célú:

- kiemelten fontos: a légirányítás, a védelmi erők (rendőrség, tűzoltóság, biztonsági szolgálat stb.) és a műszaki kiszolgáló személyzet által használt kommunikációs rendszerek;
- fontos: a terminál személyzet, földi kiszolgáló személyzet, karbantartó állomány által használt kommunikációs rendszerek;
- egyéb: az előző két pontban nem említett vezeték nélküli kommunikációs rendszerek (pl. GSM, Wi-Fi és Bluetooth stb.), ide sorolva a különböző szolgáltatók (éttermek, kávézók stb.) saját rendszereit.

→ navigációs célú:

- a különböző leszállító és forgalomirányító rendszerek, radarok, globális és területi helymeghatározó rendszerek.

### Kommunikációs frekvenciák megismerése, felfedése

A fent említett eszközök, rendszerek által használt frekvenciák megismerése, felfedése viszonylag egyszerű feladat. A frekvenciák az interneten és más forrásokban nyíltan elérhetőek, mind a nemzetközi, mind a hazai repülőterek vonatkozásában. Magyarország vonatkozásában például

---

<sup>4</sup> „Az elektronikai hadviselés olyan hatás-alapú katonai tevékenységek/műveletek összessége, amelyek elektromágneses környezetben, az elektromágneses energia tudatos használatával biztosítják az elektromágneses műveletek részeként végrehajtott támadó és védelmi jellegű hatások/célok elérését.” [11]

mindenki hozzáférhet a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság Légiforgalmi célú hatósági frekvenciajegyzékéhez [12], amely részletesen tartalmazza a magyarországi repülőterekkel kapcsolatos kommunikációs és navigációs frekvenciákat. Ez repülésbiztonsági szempontból mindenképpen fontos, hiszen például az irányítás esetében így mindenki hallhatja a környezetében folyamatban lévő repülésekkel kapcsolatos rádióforgalmazást. Ennek érdekében az interneten elérhetjük a különböző repülőterek repülésirányítási frekvenciáit. Az 1. ábrán a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér interneten elérhető adatait mutatom be, köztük a már említett kommunikációs frekvenciákat.

ICAO kódja	LHBP	
IATA kódja	BUD	
Földrajzi helyzete	47° 26' 22" N/19° 15' 43" E	
Tengerszint feletti magassága	151 m	
Futópályák	13R/31L 3010 m × 45 m 13L/31L 3707 m × 45 m	
Kényszerleszállósáv	13/31 2000 m × 100 m (füves)	
Leszállító berendezések	ILS, VOR, NDB minden irányból	
ICAO tűzbiztonsági kategória	CAT 9	
Rádiófrekvenciák	Irányítótorony	118,100 MHz
	Földi irányítás gurítás	121,900 MHz
	Apron West előtéri T1	131,500 MHz
	Apron South előtéri T2	122,450 MHz
	Közelkörzet Kelet	129,700 MHz
	Távolkörzet Nyugat	122,975 MHz
	Távolkörzet West Top	135,205 MHz
	Távolkörzet West Upper	132,055 MHz
	Távolkörzet West Middle	128,100 MHz
	Távolkörzet West Lower	133,200 MHz
	Távolkörzet East Top	136,380 MHz
	Távolkörzet East Upper	135,555 MHz
	Távolkörzet East Middle	128,950 MHz
	Távolkörzet East Lower	130,575 MHz
	Kisgépes irányítás GAT	130,900 MHz
	Koordináció	122,450 MHz
	BA.Rt Földi kiszolgálás	131,375 MHz
	Vészfrekvencia	121,500 MHz (123,100 MHz)

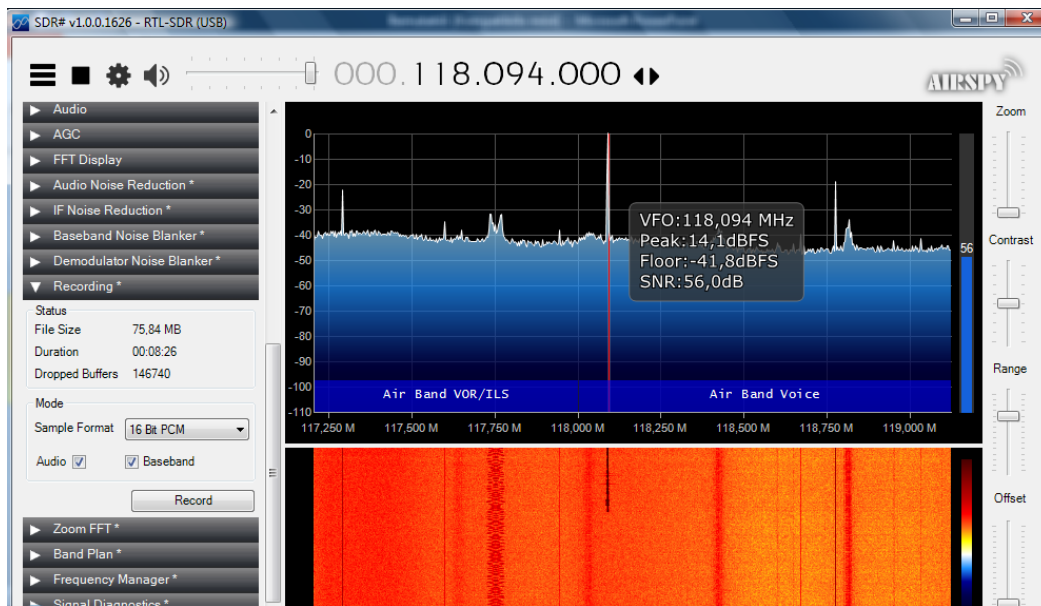
1. táblázat Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér kommunikációs frekvenciái [13]

Az interneten elérhetőek továbbá a budapesti repülőtér üzemeltetésében – bár még MALÉV megnevezéssel – közreműködő szolgálatok frekvenciái is, így például a földi szakszolgálaté, a műszaki kiszolgáló állományé, vagy a biztonsági szolgálaté is [14]. A nyíltan elérhető források mellett több más módon is megismerhetjük a repülésirányítási és egyéb frekvenciákat. Számos elektronikai áruházban elérhető a légiközlekedés számára kijelölt frekvenciatartományában (108–137 MHz) üzemeltethető rádiószkenner, melyekkel nemcsak felfedhetjük a nem ismert frekvenciákat, de ellenőrizhetjük a nyílt forrásból megszerzett frekvenciaadatok pontosságát is. Vásárolhatunk szoftverrádiót<sup>5</sup> is, amelyekkel kapcsolatban többféle lehetőség áll a rendelkezésünkre. Ezek egyike a földfelszíni adások<sup>6</sup> vételére kifejlesztett USB formátumú vevő, amely ilyen célú szoftverek alkalmazásával biztosítja más frekvenciák és adásmódok (AM, FM) vételét is. A számítógépen történő

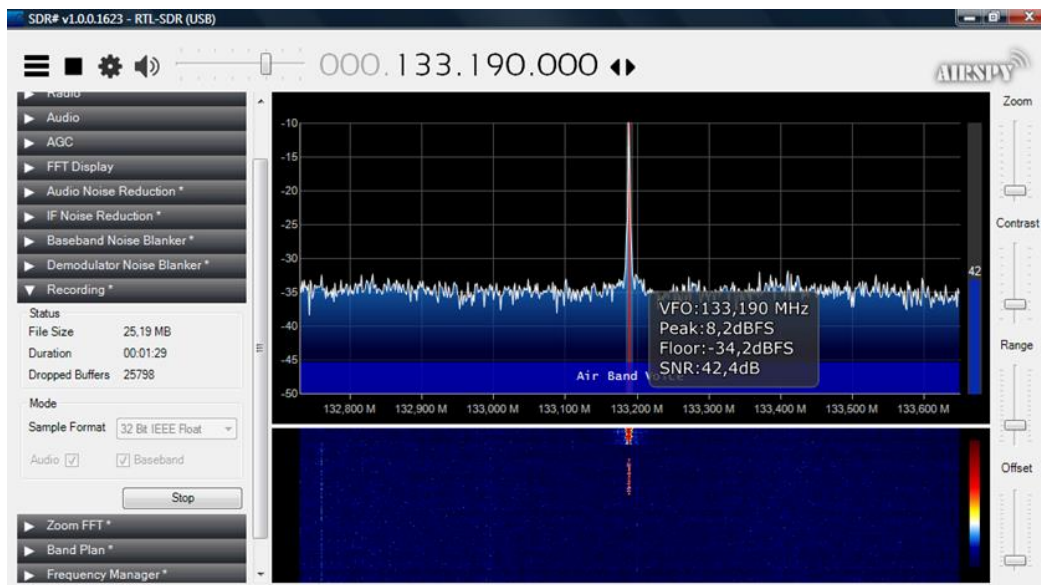
<sup>5</sup> Szoftverrádió az újrakonfigurálható/újraprogramozható rádiók osztálya, melyekben a fizikai réteg jellemzői jelentősen módosíthatóak szoftver módosításával [15]

<sup>6</sup> Digital Video Broadcasting — Terrestrial, DVB-T: digitális földfelszíni videó adás

üzemeltetéshez számos program elérhető, ilyen például az Airspy cég SDRSharp elnevezésű programja<sup>7</sup>. A 2. ábrán a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér, a 3. ábrán pedig a ramstein-i katonai légi-bázis légiirányításának forgalmazásáról látható az SDRSharp programmal készített spektrumkép.



2. ábra SDRSharp programmal készített spektrumkép a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér légiirányításának forgalmazásáról<sup>8</sup>



3. ábra SDRSharp programmal készített spektrumkép a ramstein-i katonai légibázis légiirányításának forgalmazásáról<sup>9</sup>

Amennyiben ennél mobilabb megoldást szeretnénk, a fenti USB-t és az antennát például az Android operációs rendszerű telefonunkra is felcsatlakoztathatjuk, mivel erre a platformra

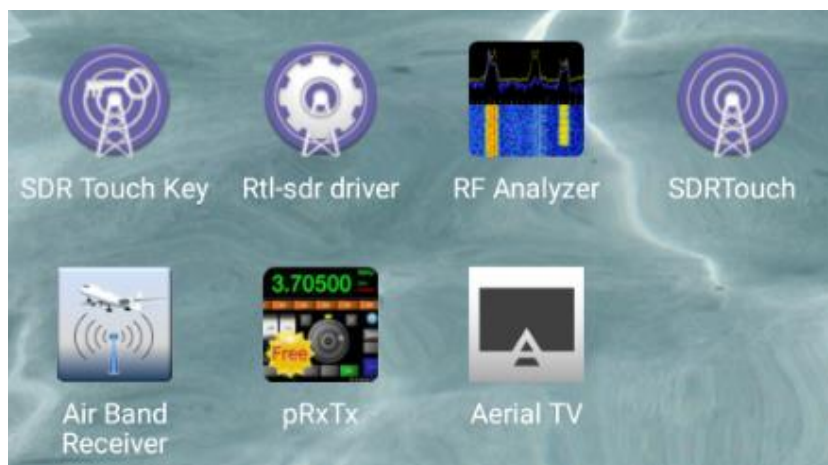
<sup>7</sup> A szerző megjegyzése: a csak vételre alkalmas, de kisugározni nem tudó eszközök (rádiószkenner, földfelszíni adások vételére kifejlesztett eszközök stb.) használatához nem kell Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság Hivatala, Frekvencia- és Azonosítógazdálkodási Főosztály, Frekvenciaengedélyezési Osztály által kiadott Rádióamatőr engedéllyel rendelkezni.

<sup>8</sup> Készítette a szerző.

<sup>9</sup> Készítette a szerző.



elérhető már több olyan program, amely a különböző frekvenciatartományokban történő forgalmazás hallgathatóságát biztosítja. Így akár a repülőtér körzetében, mozgás közben is figyelemmel kísérhetjük a folyamatban lévő forgalmazást a 4. ábrán megjelenített programokkal.<sup>10</sup>



4. ábra Android operációs rendszerű telefonokra elérhető SDR programok <sup>11</sup>

Mielőtt továbblépnék, szükségesnek látom, hogy megemlítssem az elektronikai megtévesztést is. A mai technikai eszközök biztosítják annak lehetőségét, hogy nyíltan hallgatható légiirányítási és egyéb frekvenciák forgalmazását adott esetben valaki rögzítse és azt egy későbbi időpontban, akár összevágott információ tartalommal – beleavatkozva a normál légiirányítási vagy egyéb tevékenységbe – bejuttassa, ezzel megtévesztve a normál üzemelést és akár emberi életet is veszélybe sodorva.

### **Vezeték nélküli egyéb kommunikációs rendszerek (pl. GSM, Wi-Fi, Bluetooth stb.)**

A repülőtereken a már említett rádiórendszereken kívül más vezeték nélküli kommunikációs rendszerek is alkalmazásra kerülhetnek. Ezek között megtalálhatóak a mindenki által használható mobiltelefonok, a repülőtér érdekében szolgáltatást végzők által kialakított Wi-Fi vagy Bluetooth hálózatok. Ezen rendszerek üzemi frekvenciáinak megismerése/felfedése szintén egyszerű feladat, mivel frekvenciáik közismertek. A rövid hatótávolságú vezeték nélküli mikrohullámú kommunikációt biztosító Wi-Fi rendszerű eszközök az ipari, tudományos és orvosi sáv (Industrial, Scientific and Medical, ISM band) 2,4 GHz-es frekvenciáján üzemelnek. Ilyen Wi-Fi hálózatokhoz sok helyen csatlakozhatunk, ezek némelyike nyílt, például repülőtereken, vagy hotspotoknál. Sok esetben, például üzletekben, munkahelyi hálózatokban az adott hálózatban érvényes jelszóval léphetünk be. A Bluetooth szintén a 2,4 GHz-es tartományban működő adatkapcsolat, a Wi-Fi összeköttetésnél lényegesen kisebb távolság áthidalására alkalmas.

Természetesen más rövid hatótávolságú megoldások is léteznek, melyeket figyelembe kell vennünk. Ezek egyike például a korábbi cikkemben is említett Li-Fi<sup>12</sup> technológia. Ezzel a megoldással a látható fényen keresztül lehet megvalósítani az adatátvitelt. Ezen megoldás előnye,

<sup>10</sup> A légiirányítás forgalmazásának hallgatása nem tartozik a rádióamatőr tevékenységre vonatkozó jogszabály hatálya alá, nem kell rádióengedély vizsgával rendelkezni ezen eszközök alkalmazása során.

<sup>11</sup> Készítette a szerző.

<sup>12</sup> Light Fidelity, fényalapú adatátviteli kommunikáció



hogy az elektronikai zavarás szempontjából védett, így a kutatások/fejlesztések eredményeinek tükrében megfelelő alternatíva lehet [16].

Mobilkommunikáció esetén beszélhetünk a jól ismert GSM rendszerekről, műholdas telefonokról, amelyek frekvenciaadatai szintén elérhetőek a frekvenciahasználati engedélyt kiadó hivatal adatbázisában, sok esetben az interneten is.

A különböző eszközök esetében fontos megjegyezni, hogy a vonatkozó Nemzeti Média és Hírközlési Hatóság rendelet szerint a rádiószolgálat állomás<sup>13</sup> a működés és zavarvédelem szempontjából lehet elsődleges vagy másodlagos. „Az elsődleges rádiószolgálat állomása nem okozhat káros zavarást az azonos vagy más elsődleges rádiószolgálat olyan állomásainak, illetve nem tarthat igényt védelemre az azonos vagy más elsődleges rádiószolgálat olyan állomásai által okozott káros zavarásokkal szemben, amelyek részére a frekvenciákat korábban már kijelölték, vagy amelyek részére a frekvenciahasználati jogot korábban már megszerezték.” [17] Ez azért lényeges, mivel például a Wi-Fi eszközök esetében az alkalmazó nem kérheti a Nemzeti Média és Hírközlési Hatóság (a továbbiakban NMHH) általi zavarkivizsgálást, amennyiben zavarást észlel, míg például a GSM esetében ez lehetséges, hiszen a szolgáltatók, mint az adott frekvencia elsődleges felhasználói erre jogosultak. Természetesen ez igaz a következő alpontban ismertetett radar és leszállító rendszerek zavarai esetén is.

### **Navigációs célú (különböző leszállító és forgalomirányító rendszerek, radarok, globális és területi műholdas helymeghatározó rendszerek) berendezések, rendszerek**

Ebben a feladatban is felhasználhatjuk a nyílt forrásban elérhető anyagokat a különböző rendszerek frekvenciáinak megismeréséhez. Ezen eszközök esetében is vannak tipizált frekvenciatartományok, amelyen belül az adott eszközcsoportok általában működnek. Ezen alapelvek igazak a különböző felhasználású radarok, illetve a globális helymeghatározó rendszerek esetében is. Az adott repülőtéren alkalmazott eszközök típusának ismeretében az internetről, az adott eszközt gyártó, forgalmazó vállalat weboldaláról is számos információ megszerezhető lehet. Több eszközcsoport, például a radarok esetében, szintén működhet a spektrumanalizátorral történő elemzés.

A különböző rádió navigációs berendezéseket többféleképpen csoportosíthatjuk:

- ➔ rendeltetésük szerint;
  - útvonalnavigációs berendezések;
  - területi navigációs berendezések;
  - leszállító berendezések;
- ➔ működési elvük szerint;
  - irányított adás elvén alapuló berendezések;
  - irányított vétel elvén működő berendezések;
  - impulzus és impulzus-kód moduláció elvén működő berendezések;
  - hiperbola elven működő rendszerek;
  - önálló fedélzeti navigációs rendszerek;

---

<sup>13</sup> „Állomás: egy vagy több adó- vagy vevőberendezés vagy adó- és vevőberendezés-csoport a tartozékokkal együtt, valamely rádiótávközlési szolgálatnak vagy a rádiócsillagászati szolgálatnak egy adott helyen történő megvalósítása céljából.” [17]

- integrált fedélzeti navigációs rendszerek;
- ➔ hatótávolságuk szerint;
  - közelkörzeti berendezések;
  - kishatótávolságú útvonal-navigációs berendezések;
  - nagyhatótávolságú navigációs berendezések;
- ➔ rádiófrekvenciájuk szerint;
  - VLF: Very Low Frequency, igen alacsony frekvenciák, 3 kHz–30 kHz;
  - LF: Low Frequency, alacsony frekvenciák, hosszúhullám, 30–300 kHz;
  - MF: Medium Frequency, közepes frekvenciák, középhullám, 300 kHz–3 MHz;
  - HF: High Frequency, magas frekvenciák, rövidhullám, 3 MHz–30 MHz;
  - VHF: Very High Frequency, igen magas frekvenciák, méteres hullám, 30 MHz–300 MHz;
  - UHF: Ultra High Frequency, ultra magas frekvenciák, deciméteres hullám, 300MHz–3000MHz;
  - SHF: Super High Frequency, szuper magas frekvenciák, mikrohullám, 3 GHz–30 GHz;
  - EHF: Extra High Frequency, extra magas frekvenciák, milliméteres hullámhossz, 30–300 GHz [18].

A fenti berendezések közé tartoznak a többek között a VHF tartományú „mindenirányú” rádióterület (VHF Omnidirectional Radio Range, VOR), a precíziós megközelítési radar (Precision Approach Radar, PAR), a távolságmérő berendezés (Distance Measuring Equipment, DME), a műszeres leszállító rendszer (Instrument Landing System, ILS).

A műholdas helymeghatározó rendszerekkel kapcsolatban fontos, hogy a négy jól ismert, korábban már említett globális rendszer mellett számos kis hatótávolságú, helyi rendszert is üzemeltetnek. A globális helymeghatározó rendszerek esetében gyűjtőfogalomként sokszor tévesen a GPS megnevezést alkalmazzák, amely az amerikai fejlesztésű rendszertől (Navigation System with Timing and Ranging Global Positioning System, NAVSTAR GPS) származik. A globális helymeghatározó rendszer hivatalos neve a Global Navigation Satellite Systems (GNSS). A négy legnagyobb GNSS rendszer az amerikai NAVSTAR GPS, az orosz GLONASS, az Európai Unió által fejlesztett GALILEO és a kínai COMPASS. Mindenképpen meg kell jegyezni, hogy az interneten számos eset olvasható a GNSS rendszerek zavarásáról.

A fejlett zavaró eszközök esetében „nem az a cél, hogy látványosan megszűnjön a szolgáltatás, hanem az, hogy hihetően megtévessze a kezelőt, meghamisítsa a mérési adatokat, megghiúsítsa a feladat végrehajtását, vagy olyan mértékű pontatlanságot vigyen bele, amely jelentősen csökkenti az elvárt eredményt.” [19] Ez sok esetben azért jelent problémát, mivel a tapasztalatlan kezelő állomány nem biztos, hogy felismeri időben, hogy mi is történik pontosan, illetve nem tudja a helyes eljárásrendet.

A fenti radarberendezéseken kívül számos, nem közvetlenül a légiforgalmi irányításhoz tartozó radarberendezés van alkalmazásban. Ezek közé tartoznak például a magasságmérő radarberendezések, amelyek leginkább a katonai repülésben alkalmaznak, illetve a meteorológiai radarberendezések, amelyek általában az országos vagy regionális állami meteorológiai szolgálatok üzemeltetésében vannak [18].

## A REPÜLŐTEREKEN ÉS A REPÜLÉSIRÁNYÍTÁSBAN ALKALMAZOTT, A FREKVENCIASPEKTRUMOT ALKALMAZÓ RENDSZEREK ELEKT- RONIKAI ZAVARÁSA

### Az aktív elektronikai zavarás megvalósítása

Az aktív elektronikai zavarás három típusát különböztethetjük meg a „zavarok és a zavarandó hasznos jelek spektrumainak egymáshoz való viszonyától és a zavar rávezetés módjától függően” [20], ezek a célzott, a szélessávú és a csúszó zavarás.

„A célzott, vagy keskenysávú elektronikai zavarok spektruma összemérhető (egyenlő, vagy 1,5-2-ször nagyobb) a zavart elektronikai eszköz hasznos jelének spektrumával.” [20] Ebben az esetben nagy spektrális teljesítmény sűrűség létrehozása történik meg. A célzott zavarás esetében a zavaró jel keskeny frekvenciasávban kerül kisugárazásra, így elegendő a kisebb teljesítmény. „A szélessávú elektronikai zavarok spektruma jelentősen nagyobb, mint a zavart eszköz hasznos jeleinek spektruma. Az ilyen zavaráshoz általában nem kell pontosan ismerni a zavart berendezések adásjellemzőit, ezért a szélessávú zavaró adók felépítése lényegesen egyszerűbb. A csúszó elektronikai zavar a keskenysávú zavaró adó jelének széles frekvenciasávban történő gyors áthangolásával kerül létrehozásra, így minden, a zavarás frekvenciasávjába eső berendezés bemenetén egymás után gyorsan ismétlődve kellő nagyságú teljesítménysűrűség képződik. A gyors áthangolással átfogott frekvenciasáv lényegesen nagyobb a zavart vevő által vett hasznos jel sáv szélességénél” [20].

Az aktív zavarással kapcsolatban fontos azt is megjegyezni, hogy nem az adó, hanem a vevő zavarása a cél, mivel ebben az esetben kisebb teljesítményű zavarójel szükséges. A döntő faktor a lefogási tényező, ami zavaró jel és a hasznos jel közötti viszonyszám [21].

Azon kérdések mellett, hogy az elektronikai zavaróeszköz milyen teljesítménnyel, milyen frekvenciatartományban alkalmazható, mindenképpen figyelmet kell fordítani arra a kérdésre is, hogy az adott elektronikai zavaró eszköz milyen tápellátással, milyen üzemidővel rendelkezik. Az önálló tápellátással rendelkező eszközök (pl. elem, akkumulátor) üzemidejét számos tényező befolyásolhatja, annak üzemelése – így az elektronikai zavarás is – az áramforrás lemerülésével megszűnik. Az üzemidő esetében észszerű megoldás a válaszzavarás alkalmazása. Ehhez az szükséges, hogy a kiválasztott eszköz képes legyen a kívánt csatornán a forgalmazást (hang és adatot egyaránt) figyelni, és annak detektálása esetén az elektronikai zavarást a lehető leghamarabb elindítani. Ebben az esetben ez negatívan befolyásolhatja az elektronikai zavaróeszköz helyének felderíthetőségét, hiszen rövid ideig tartó kisugárzás esetén nehezebb megtalálni a zavaró eszközt. Hálózati tápellátás során (pl. a repülőtér valamely helyiségében elrejtve, annak hálózatára csatlakoztatott eszköz esetén) az eszköz megtalálásáig a folyamatos üzem biztosított.

Napjaink fejlett technológiája biztosítja azt is, hogy a zavaróeszköz vizuálisan nehezen felderíthető, kisméretű kivitelben készüljön.

Az elektronikai zavarással kapcsolatban az alábbi kérdéseket küldtem meg a Budapest Airport Zrt és a HungaroControl Zrt. részére:

- ➔ Került-e kidolgozásra okmány, belső szabályozó a szervezet tevékenysége, mint kritikus infrastruktúra vonatkozásában?

- A szervezet az elmúlt tíz évben tapasztalt-e az elektronikai zavarásra visszavezethető akadályoztatást tevékenysége során? Amennyiben igen, ezen esetek leírásai nyilvánosan elérhetőek-e?
- A szervezet az elektronikai zavarás vonatkozásában rendelkezik-e speciális eszközökkel – ebbe nem beleértve a különböző eszközök beépített védelmi lehetőségeit – az esetleges elektronikai zavarás felderítése és elhárítása érdekében?

A Budapest Airport Informatikai részlegétől kapott válasz alapján „számos belső szabályzat került kidolgozásra a repülőtér üzemeltetői tevékenységével kapcsolatban. Általánosságban elmondható, hogy ezen dokumentumok nem nyilvánosak, és Budapest Airport Zrt.-n belül is csak azok számára elérhetőek, akiknek arra a munkavégzésükhöz szükségük van.” [10] A válasz alapján nem rendelkeznek információval esetleges elektronikai zavarásról, illetve rendelkeznek „olyan eszközökkel és eljárásokkal, melyek elősegítik egy esetleges elektronikai zavarás felderítését és elhárítását” [10].

A HungaroControl Zrt. rádió-kommunikációs szakreferensétől kapott válaszban foglaltak megerősítik, hogy az érintett eszközök műszaki specifikációja, működési frekvenciája (a primer radarberendezések kivételével) nyilvános adat. Az NMHH által kiadott rádióengedély alapján a részükre engedélyezett frekvenciákon észlelt zavarás esetén jogosultak rádióellenőrzést és zavarvizsgálatot kérni. Probléma esetén a „légiforgalmi irányítást támogató műszaki rendszer tartékoltsága és elosztott jellege bizonyos védelmet nyújt a szolgáltatás egyes frekvenciáit érintő zavartatások ellen. Kis teljesítményű földi zavarforrás esetén a forgalmazásra aktuálisan használt telephely váltása sok esetben megoldja a zavartatási problémát.” [22] Az általuk tapasztalt elektronikai zavarási incidensekről korábban már tettem említést. A HungaroControl Zrt. rendelkezik a zavarforrások helyi kereséséhez szükséges eszközökkel, esetleges ilyen jellegű tevékenységük csak a repülőtér környezetére korlátozódik [22].

A légiirányítási frekvenciák – mivel ezen esetben egy-egy konkrét frekvenciáról van szó – zavarása viszonylag egyszerű feladat. A védelmi erők esetében az általuk alkalmazott eszközök zavarása már bonyolultabb, mivel ezen szervezeteknél valószínűsíthetően olyan kommunikációs eszközök kerültek rendszeresítésre, amelyek rendelkezhetnek valamilyen, zavarás elleni védelemmel. Zavarás elleni védelem lehet például a frekvenciaugratásos üzemmód<sup>14</sup> alkalmazása. Ebben az esetben is megoldható az elektronikai zavarás, azonban már nagyobb felkészültséget, fejlettebb technikai eszközt igényel. Ki kell emelni azt, hogy elektronikai zavarás ellen az információvédelmi megoldások (pl. kódolás alkalmazása) nem nyújtanak védelmet, hiszen a zavarás esetében nem az információ megszerzése a cél. Hasonló a helyzet a Wi-Fi, Bluetooth és egyéb vezeték nélküli rendszerek esetében.

A radarok, a különböző leszállító és forgalomirányító rendszerek esetében szintén nagyobb valószínűséggel fordulhatnak elő különböző védelmi megoldások, azonban egyes eszközcsoportoknál előfordulhat, hogy csak egy-egy frekvencián üzemelnek, amelynek lefogása szintén könnyen megoldható.

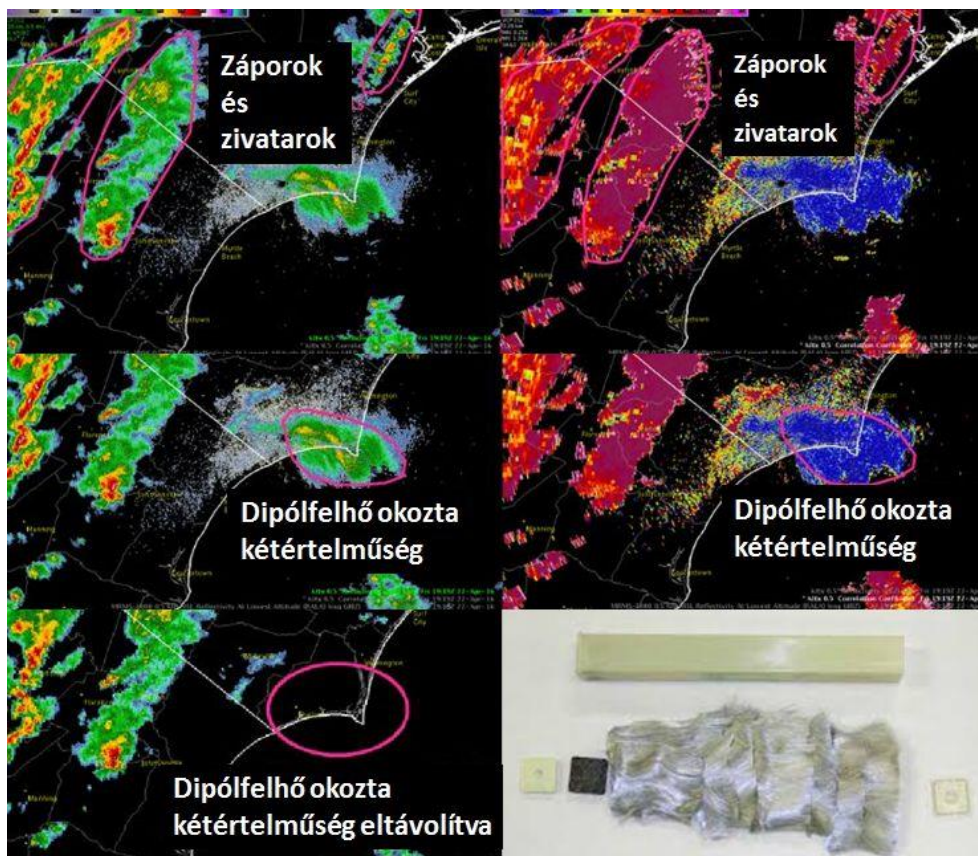
A globális helymeghatározó rendszerek által használt frekvenciák aktív zavarása annak alacsony teljesítményszintje miatt szintén megoldható. Ezen rendszereknél az elektronikai zavarás

---

<sup>14</sup> Frequency hopping

mellett figyelmet kell fordítanunk az úgynevezett „spoofing” és „meaconing” eljárásokra is. A spoofing lényege, hogy a „valódi műholdak jeleinek megfelelő, de más pozícióadatokat eredményező jeleket sugároznak a vevőkészülékeknek, így amennyiben azok ráállnak ezen jelek feldolgozására, akkor a hamis helyadatok miatt az eredeti útvonaltervhez igyekeznek módosítani pl. a repülési irányt és letérnek az eredeti feladatról”. A „meaconing” eljárás lényege a műholdjelek rögzítése annak érdekében, hogy azt később újra kisugározzák [19].

Az aktív zavarás mellett mindenképpen szót kell ejtenünk a passzív zavarásról is. „A passzív szándékos zavarok előállításának egyik eszköze a rezonáns, fél hullám hosszúságú fémfóliából, fémezett papírból, vagy fémezett üvegszálakból készülő úgynevezett dipól visszaverő<sup>15</sup>. Ezeket elsősorban repülőeszközök passzív rádiólokációs álcázására, a felderítő, rávezető lokátorok elleni zavarfelhő előállítására használják. Az oltalmazni kívánt repülő beérkezése előtt fedélzeti dipólszóró konténerből, vagy rakétából kiszórják a dipólok sokaságát, amelyeket a légköri turbulencia szét is oszlat a légtérben. A dipólok alakját úgy határozzák meg, hogy adott frekvencián a hatásos visszaverő felületük minél nagyobb legyen, és a kiszóródás után a süllyedési sebességük a lehető legkisebb legyen, vagyis a dipólfelhő minél tovább lebegjen” [20]. A szálakból álló dipóltöltet az 5. ábra jobb alsó részén míg a kivetőpatron, a fémezett szálak felett látható. Ezen patronnal helyezik be a kivetőbe, a kivetést pedig elektronikai indítású piropatronnal hajtják végre, a repülőgép elektronikai hadviselési rendszerében meglévő program szerint.



5. ábra Dipóltöltet és az azzal a meteorológiai radaron okozott jelenség<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Sok forrásban dipóltöltet, vagy chaff megnevezéssel található meg

<sup>16</sup> [23] alapján készítette a szerző

Az, hogy nemcsak katonai radarok kerülnek a passzív zavarás célkeresztjébe, az amerikai kormányzati meteorológiai szolgálat oldalán található, az elektronikai ellentevékenység részeként alkalmazott felhasználásával kapcsolatos leírás alapján látható [23]. Az 5. ábra bal felső részén jól látható, hogy a dipóltöltet által okozott reflexió a záporokhoz és zivatarokhoz hasonló képet indukál. Itt lényeges megjegyezni, hogy folyamatos kontroll esetében valószínűsíthetően a meteorológus meg tudja állapítani – például a „kialakulás” viszonylag rövid idejéből – hogy nem normál meteorológiai jelenségről van szó, így más üzemmódok alkalmazásával a jelenség megkülönböztethető a valós meteorológiai esetektől [23].

Az 5. ábra bal alsó részén már jól látható a dipólfelhő által képzett jelenség eltávolítása, amely ebben az esetben a Multi-Radar/Multi-Sensor rendszerrel történt meg. A Multi-Radar/Multi-Sensor rendszer egy, az amerikai kormányzati meteorológiai szolgálat alkalmazásában lévő rendszer, amely automatizált algoritmusokkal gyorsan és hatékonyan integrálja a különböző radaroktól, megfigyelőállomásoktól, műholdakról érkező adatokat [23] [24].

A továbbiakban alapvetően az aktív zavarással foglalkozom, mivel a passzív zavarás megvalósítása speciális, nehezen beszerezhető és jelentő üzemeltetési költséggel járó katonai eszközök birtokban tartását feltételezi.

### **Elektronikai zavaróeszközök birtokban tartásának és üzemeltetésének szabályozása**

Az elektronikai zavaróeszközökkel kapcsolatban azt is vizsgálni kell, hogy jogszerűen hozzá lehet-e jutni az adott országban ilyen eszközökhöz. Európában és az Amerikai Egyesült Államokban tilos az elektronikai zavaróeszközök forgalmazása és működtetése. Európában a Postai és Távközlési Igazgatások Európai Értekezlet<sup>17</sup> Elektronikus Hírközlési Bizottságának<sup>18</sup> 2004-ben kiadott, majd 2016 májusában módosított ECC/REC/(04)01 számú ajánlása [25] alapján, az USA-ban pedig a Szövetségi Hírközlési Bizottság<sup>19</sup> döntése [26] alapján tiltják az ilyen jellegű készülékek polgári célú történő forgalmazását. Természetesen a legtöbb országban a rendvédelmi (rendőrségi, katonai, büntetés-végrehajtás stb.) célú felhasználásra más jogszabályok vonatkoznak. Ez azért lényeges, mivel több esetben ezen szervezetek elektronikai zavaró tevékenysége akadályozza a repülésirányítást.

Magyarországon jelenleg a Haditechnikai tevékenység engedélyezésének és a vállalkozások tanúsításának részletes szabályairól szóló 156/2017. (VI. 16.) kormányrendelet határozza meg alapvetően ezen eszközök tulajdonban tartását, mivel a XXVI. fejezet 4. pontja engedélyezés alá vonja az alábbi eszközöket:

- „a) rádiófrekvenciás zavaró adók;*
- b) vezetékes zavaró adók;*
- c) akusztikus zaj generátorok;*
- d) lézer- vagy infravörös sugárzással működő zavaró adók;*
- e) elektronikai eszközök tönkretételére tervezett, előállított berendezések;*
- f) informatikai eszközök zavarására tervezett, előállított eszközök, szoftverek;*
- g) biztonsági rendszerek zavarására tervezett, előállított eszközök” [27].*

---

<sup>17</sup> Commission of European Post and Telecommunications, CEPT

<sup>18</sup> Electronic Communications Committee, ECC

<sup>19</sup> Federal Communications Committee, FCC



A fentiek alapján nem lehetne magánszemély birtokában ilyen eszköz engedély nélkül, azonban azt is szem előtt kell tartanunk, hogy az interneten megrendelhetőek ezen eszközök, különböző frekvenciatartományra hangolva (GSM frekvenciák, GNSS frekvenciák stb.), de sok helyen olyan eszköz is elérhető, melyen mi magunk állíthatjuk be a zavarandó frekvenciát [28]. A megrendelés esetén a megrendelő felelőssége, hogy a szükséges eljárásokat (engedélyeztetési, vámeljárás stb.) kezdeményezi-e, hiszen kis értékű rendelés esetén nem biztos, hogy a külföldről érkező eszköz vámvizsgálat alá kerül.

A probléma már 2008-ban ismert volt az NMHH előtt, azonban jogkör hiányában nem minden esetben ők az intézkedésre jogosultak. Az ő tevékenységük alapja a polgári frekvenciagazdálkodás egyes hatósági eljárásairól szóló 7/2012. sz. NMHH rendelet. Ezen rendelet 31. § (1) bekezdése alapján a „Hatóság mérőszolgálati tevékenysége körében hivatalból – ideértve a bejelentés alapján hivatalból indított eljárást is – jár el a jogszerűen üzemeltetett rádiószolgálatok berendezéseinek üzemében észlelt zavar, vagy EMC probléma esetén a káros zavarás kivizsgálása és elhárítása érdekében. A zavarvizsgálat keretében vizsgálja a zavar meglétét, okát, behatárolja annak forrását, azonosítja az érintett üzemeltetőt, helyszíni hatósági ellenőrzés, rádióellenőrzés keretében megvizsgálja a zavart okozó berendezést”. A vizsgálat eredménye alapján, amennyiben szükséges, felszólítják az eszköz tulajdonosát a zavarás megelőzésére, illetve megszüntetésére [29].

The screenshot shows the website for Jammerfromchina Co., Ltd. The header includes the company name and a navigation bar with 'FREE-SHIPPING ALL JAMMERS TO AUSTRALIA, CANADA, US, ALL EUROPEAN COUNTRIES.' Below the header, there are several sections: 'Categories' with a list of product types like 'Mobile Phone Jammers', 'GPS Jammers', and 'WiFi/Bluetooth Jammers'; 'Featured Products' displaying three items: '5 Antennas Handheld 2G, 3G Mobile Phone and GPS Signal Jammer' for \$190.99, 'Adjustable Powerful Desktop 2G, 3G, 4G Phone Jammer Up to 100 Meters with High Output' for \$1,646.99, and 'Handheld Selectable 8 band All Cell Phone Signal Jammer & WiFi GPS L1 All in one Jammer High-capacity (USA Version)' for \$282.99; 'Popular Products' featuring a 'Pocket-size 3G Wireless Cell Phone Jammer' for \$79.99; and 'Current Top Sellers' with a 'Mini GPS Signal Jammer for Car Using' for \$56.99. A 'LIVE SUPPORT' chat window is also visible on the right side.

6. ábra Jammerfromchina Co., Ltd mobiltelefon zavaró kínálata [31]

Sajnálatos módon az eszközök beszerzését az interneten keresztül könnyen meg lehet tenni. Vizsgálataim során a GPS zavaró vagy blokkoló, illetve a GSM zavaró vagy blokkoló keresőszavak alkalmazásával találtam rendelhető elektronikai zavaróeszközt magyar aukciós portálon [30]. Ezen eszközök természetesen külföldről is rendelhetőek. A „cell phone jammer” kereső kifejezésre a Google 2018.05.27-én a Jammerfromchina Co., Ltd cég weboldalát adta első találatként. A cég különböző típusú és célú zavaróeszközök forgalmazásával foglalkozik, mint az a 6. ábrán is látható, jelentős kínálattal rendelkeznek. A weboldalon elérhető tájékoztatás szerint a szállítás Magyarországra is biztosított [31].

## AZ ELEKTRONIKAI ZAVARÁS ELLENI VÉDELEM MEGOLDÁSAI

A repülésben a védelem 1930-ban vált igazán kérdéssé, amikor Peruban a forradalom alatt a Pan American társaság postát szállító repülőgépét a lázadók elfoglalták annak érdekében, hogy Lima felett szórólapokat szórjanak belőle [32].

A védelem kialakításának számos lépcsője és fajtája különböztethető meg. Ebbe egyaránt bele kell érteni a jogszabályok által biztosított védelmet, a biztonságtechnikai védelmet (melynek része az objektumvédelem, stb.), vagy a különböző technikai eszközök által kínált védelmi megoldásokat. Mindenképpen lényeges az a már működő rendszerekre vonatkozó megállapítás, miszerint „*a légiforgalmi irányításban alkalmazott rendszerek (alapvetően a rádiókommunikációt, rádiónavigációt és légtérfelderítést szolgáló eszközök) jóhiszemű felhasználók együttműködésén alapulnak, szándékos zavaró tevékenység elleni védelmük kialakítása nem volt alapvető követelmény a rendszer tervezésekor*” [22].

A támadások és az ellenük való védelem kialakítása egy macska-egér harc, amely során legtöbb esetben a védelemért felelős szervezetek vannak hátrányban. Sok esetben egy-egy támadást követően kerülnek kidolgozásra az adott támadási formára választ adó védelmi metódusok. Példaként említeném a PanAm légitársaság Londonból New-Yorkba tartó járatának 1988. december 21-én, Lockerbie felett történt felrobbantását, melyet egy, a poggyászbba rejtett pokolgéppel követtek el. A vizsgálatot követően a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet<sup>20</sup> (a továbbiakban ICAO) egy nyolcpontos akciótervet dolgozott ki, amely tartalmazta, hogy robbanóanyag detektálására képes eszközt kell kifejleszteni és alkalmazni a repülőtereken, ellenőrizni kell, hogy minden feladott poggyász tulajdonosa felszáll a repülőgépre, illetve a nem átvizsgálható eszközökre, rádiókra, elektromos berendezésekre más ellenőrzési eljárást kell kialakítani [33].

Fontos azt megjegyezni, hogy számos támadási forma alkalmazható a repülés különböző elemei ellen, ebbe beleértve a repülőgépeket, a repülőtereket, az utazóközönség és a repülőtéren dolgozók elleni támadási formákat. A bűnüldözés más területeihez hasonlóan ebben az esetben is rendkívül nehéz előregondolkodni és olyan védelmi megoldásokat kiválasztani, amelyek nemcsak egy támadási forma ellen nyújthatnak védelmet.

### **Az elektronikai zavarás elleni védelem jogi lehetőségei**

A jogszabályok által biztosított védelem lehet nemzetközi és nemzeti szabályozáson alapuló. A légiközlekedés fejlődésével létrejöttek különböző nemzetközi szervezetek, aláírásra kerültek nemzetközi egyezmények, amelyek a különböző támadási módszerek változásával párhuzamosan a védelmi lehetőségek körét is próbálják a repülésben részt vevők számára minél jobban kiterjeszteni. A nemzetközi szervezetek között meg kell említeni természetesen az ENSZ Közgyűlését és a Biztonsági Tanácsot. Az Európai Parlament és a Tanács 300/2008/EK számú, a polgári légi közlekedés védelmének közös szabályairól és a 2320/2002/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről szóló rendelete szerint a „*légi közlekedés védelme a polgári légi közlekedésnek a polgári légi közlekedés védelmét veszélyeztető jogellenes cselekményekkel szembeni védelmét célzó intézkedések, valamint az emberi és anyagi erőforrások összessége*” [34].

---

<sup>20</sup> International Civil Aviation Organisation, ICAO



Az egyik védelmi megoldás a szabványok, közös megoldások és eljárások alkalmazása. A korábban már említett, a Nemzetközi Polgári Repülésről szóló 1944. évi chicagói egyezmény által létrehozott és az azóta is az egyik legfontosabb repülésügyi szervezet, az ICAO „szabványokat határoz meg a légijárművek lajstromozására, légi alkalmassági bizonyítványának kiadására, nemzetközi működtetési elvekre, kommunikációs eszközökre vonatkozóan” [33]. Emellett több más szervezet is megalakult. Így például a Nemzetközi Légifuvarozók Szövetsége<sup>21</sup>, amely nemcsak a tagok érdekeit képviseli különböző fórumokon, de különböző ajánlásokat is megfogalmaz, mind kibervédelem, mind az üzemeltetésre vonatkozó biztonság témakörében [35]. A védelem szempontjából fontos momentum volt a légijármű jogi státuszának meghatározása, amellyel kapcsolatban az 1963. évi, Tokióban megrendezett ICAO konferencián született megállapodás.

Mindenképpen fontos az elfogadott nemzetközi szabályok, szabványok és eljárások nemzeti szinten történő bevezetése és alkalmazása. Magyarországon a légi közlekedés védelmével a polgári légiközlekedés védelmének szabályairól és a Légiközlekedés Védelmi Bizottság jogköréről, feladatairól és működésének rendjéről szóló 169/2010. (V. 11.) Korm. rendelet foglalkozik. A rendeletben kijelölésre kerültek a védelmi feladatokban érintett szervezetek, felállításra került a Légiközlekedés Védelmi Bizottság, illetve ezen rendelet tartalmaz több olyan programot, amely a különböző biztonsági szempontból fontos biztonsági kérdések részleteit tisztázza. Ezen programok a Nemzeti Polgári Légiközlekedés Védelmi Program, a Nemzeti Polgári Légiközlekedés Védelmi Minőségbiztosítási Program, illetve a Nemzeti Polgári Légiközlekedés Védelmi Képzési Program [36].

Korábban már bemutattam, hogy a repülőterekkel kapcsolatban számos frekvencia elérhető nyílt forrásban. Javaslatom szerint ezen információt védetté, és ezáltal nehezebben elérhetővé kell tenni. Erre szolgáló módszer lehet például az, hogy a frekvenciák különböző személyi adatok (személyi igazolvány, magánpilóta szakszolgálati engedély, stb.) megadását követően lennének csak elérhetőek a célrepülőtér, vagy az adott ország nemzeti frekvencia- vagy spektrumgazdálkodási hivatalának weboldalán. Ki kell hangsúlyozni, hogy ezen megoldás önmagában nem nyújt védelmet, de nehezíti a rossz szándékú felhasználást. Természetesen a veszélyhelyzeti frekvencia nyíltan elérhetőnek hagyható/hagyandó.

Hazánk vonatkozásában javasolom megvizsgálni az NMHH jog és hatáskörének kiterjesztésének lehetőségét az elektronikai zavaróeszközök magyarországi forgalmazásának ellenőrzésére. Ez a megelőzés szempontjából lenne fontos, hiszen mint azt bemutattam, ezen eszközök hozzáférhetőek arra illetéktelen személyek számára is. Véleményem szerint itt egy olyan, a jogi szabályozásban fennálló hiányosság van, amit a jelenleg érvényben lévő jogszabályok betartása és betarthatósága érdekében meg kell szüntetni.

Napjainkban, figyelembe véve a bekövetkezett légi közlekedés ellen végrehajtott fegyveres támadásokat, robbantásokat, megállapítható, hogy a jogi megoldások nem elegendőek. Csökkenthetik, vagy néhány esetben elrettenthetik a lehetséges elkövetőket, azonban számos támadás során vallási elvakultság vezeti az elkövetőket, akik ellen a különböző mértékű büntetési tételekkel való fenyegetés hatástalan marad. Ezen esetekben a különböző fizikai akadályok, biztonságtechnikai megoldások, kibervédelem, fejlett kommunikációs védelmi megoldások alkalmazása lehet a hatékony védelem alapja. Fontos újra kihangsúlyozni azt, hogy nemcsak a

---

<sup>21</sup> International Air Transport Association, IATA

szándékos, rossz szándékú felhasználás jelenthet problémát, de a kellő ismeret hiányában történő üzemeltetés, amennyiben az eszközt birtokló személy nincs tisztában cselekményének lehetséges hatásaival.

Itt említem meg azt is, hogy az elektronikai zavarás elleni feladatok egyik alapvető eleme a különböző felkészítések, oktatások során az érintett személyek (repülőgép-vezetők, repülésirányítók, műszaki-üzemeltető állomány, védelmi erők stb.) tájékoztatása, felkészítése, a probléma felismerése és a szükséges intézkedések mielőbbi megtétele érdekében.

### **Elektronikai zavarás elleni védelem feladatai a repülőtér tervezése/üzemeltetése során**

Az elektronikai zavarás elleni valós tevékenység a tervezés során többlépcsős feladat és különböző szakértelmet kíván meg. Egyrészt már a repülőtér üzemeltetésének tervezése során olyan rendszerelemek, eszközök kiválasztását kell feltételeznünk, amelyek rendelkeznek megfelelő védelemmel az elektronikai zavarás ellen. Másrészt a repülőtér kiépítése során fokozott figyelmet kell fordítani a redundancia biztosítására, más üzemelési paraméterek beállításának lehetőségével. Ezen tervezéshez fel kell használni a villamos energiaellátás folyamatos biztosításának metodikáját, miszerint „*a repülőtér látás utáni és rádiónavigációs létesítményeit kiszolgáló elektromos-energia ellátó rendszert úgy kell megtervezni és létesíteni, hogy egy berendezés meghibásodása miatt a légi jármű vezetője ne kapjon, illetve ne kaphasson nem kielégítő (elégtelen) látás utáni, vagy rádiónavigációs irányvezetés tájékoztatásokat, vagy félrevezető információkat*” [37].

A repülőterek kialakítása során törekedhetünk a kis hatótávolságú elektronikai zavaróeszközök esetében hatásos „védőtávolságok” kialakítására, gátolva a zavaró eszközök repülőtérre, illetve a repülésirányítás szempontjából fontos objektumok közelébe történő eljuttatását. Fontos azonban azt is megjegyezni, hogy ezen megoldások nem alkalmazhatóak a nagyobb hatótávolságú, katonai célra készített elektronikai zavaróeszközök esetében.

A 300/2008/EK számú, a polgári légi közlekedés védelmének közös szabályairól és a 2320/2002/EK rendelet hatályaon kívül helyezésétől szóló rendelet alapján a repülőterek, valamint a hozzátartozó létesítmények tervezésénél négy területet kell kialakítani, melyek az alábbiak:

- légi oldal;
- földi oldal;
- szigorított védelmi terület,
- szigorított védelmi terület kritikus része [38].

A fenti rendelet foglalkozik továbbá az egyes területek elemeinek meghatározásával, a területek egymástól történő elkülönítésével, illetve az egyes területekre történő belépés rendjével, az utasok és poggyászok, valamint csomagok ellenőrzésével [38].

Az USA-ban a Szövetségi Repülési Szabályok 139. fejezetében (Federal Aviation Regulations Part 139) került meghatározásra, hogy Repülőtér Biztonsági Programmal kell rendelkeznie minden szolgáltatást végző repülőtérnek. Ezen tervben kell meghatározni a repülőtér különböző területeire vonatkozó biztonsági feladatokat [32].

A külső területek védelmének biztosítottasága mellett figyelmet kell fordítanunk a belső terek védelmére is. Ezen problémakörre megoldás például a hatékony beléptetési, személyi és

csomagellenőrzési szabályok alkalmazása, amellyel megakadályozható ezen eszközök védett térbe történő bevitele.

### **Elektronikai zavaró eszköz helyének felderítése**

Az elektronikai zavaró eszköz felderítésének sikerességét számos tényező befolyásolhatja, így a teljesítmény, az üzemelés módja (időszakos, folyamatos), a zavaróeszközök száma. Ezek közül az egyik legfontosabb a zavaróadó üzemideje. Ennek oka az, hogy az zavarás forrásának helyét csak akkor találhatjuk meg, amennyiben az sugároz a keresés időszakában. Emiatt tarthatott például sokáig a newark-i repülőtér esetében a probléma megoldásának megtalálása, hiszen a kamion mozgásban volt, a zavarás nem volt folyamatos. A kisugárzás azonosítása során is többféle lehetőség áll a rendelkezésünkre. Egyrészt vannak olyan állami szervezetek minden országban, amelyek a spektrum- vagy frekvenciagazdálkodással foglalkoznak. Magyarországon ez a szervezet a korábban már említett Nemzeti Média és Hírközlési Hatóság, amely rendelkezik olyan mérési képességgel, amellyel felderíthető a zavaró eszköz. Problémaként jelentkezik itt is, amennyiben olyan esettel állunk szemben, mint a newark-i Liberty nemzetközi repülőtér zavarása, ahol a gépjárművezető tevékenysége miatt a zavarás időszakosan volt észlelhető.

Magyarországon az NMHH „*mérőszolgálati tevékenysége körében hivatalból – ideértve a bejelentés alapján hivatalból indított eljárást is – jár el a jogszerűen üzemeltetett rádiószolgálatok berendezéseinek üzemében észlelt zavar, vagy EMC probléma esetén a káros zavarás kivizsgálása és elhárítása érdekében. A zavarvizsgálat keretében vizsgálja a zavar meglétét, okát, behatárolja annak forrását, azonosítja az érintett üzemeltetőt, helyszíni hatósági ellenőrzés, rádióellenőrzés keretében megvizsgálja a zavart okozó berendezést.*” [29].

A zavaróeszköz pontos helyének meghatározása korábban a háromszögelés módszerével, három felderítő/iránymérő eszköz alkalmazásával történt. Napjainkban a különböző technikai lehetőségek már újabb és gyorsabb lehetőségeket biztosítanak a feladat megoldására. Ilyen például a JAGER - Jammer Acquisition with GPS Exploration & Reconnaissance, melynek esetében a követelmény egy, a GNSS sávban működő zavarforrás 15 percen belül történő megtalálása, egy repülőtér nagyságú területen maximum 30 m-es pontossággal. A hordozóeszköz egy nyolc légcsavaros, helyből felszállni képes repülő eszköz (oktokopter). A tájékozódás és a pontos repülés érdekében – a normál GNSS rendszerek hiánya miatt – egy speciális fedélzeti, alternatív helyzet, navigáció és idő (Alternative Position, Navigation and Timing, APNT) meghatározó egység került kifejlesztésre. A zavaró eszköz helymeghatározására irányított antennával végzett maximum-keresési eljárás szolgál [19].

A fentiek alapján egyértelműen megfelelő megoldást jelenthet, ha a repülőtér rendelkezik ilyen célú technikai eszközzel és az azt kezelni képes személyi állománnyal. További lehetőség lehet ilyen cég alkalmazása is, amennyiben a zavarás többször fordul elő.

Más célú technikai eszközökkel is támogathatjuk a repülés biztonságát. Ilyen például az interferencia detektornak nevezett berendezés, amely folyamatosan figyeli GNSS rendszerek frekvenciasávjait. A zavaró jeleket rögzíti, osztályozza, illetve az eredményeket tárolja a későbbi vizsgálatok érdekében. Az arra kijelölteket, jogosultakat e-mailben értesíti az eseményről [19].

### Az elektronikai zavarás elleni védelem technikai megoldásai

A katonai terminológiában a már említett elektronikai hadviselés egyik eleme az elektronikai védelem, amely „*passzív és aktív védelmi rendszabályok alkalmazása, valamint a saját kisugárzások ellenőrzése útján valósul meg. A passzív elektronikai védelem az elektromágneses spektrum hatékony felhasználását biztosító, az elektronikai eszközök alkalmazási módjával és technikai jellemzőivel összefüggő, nem észlelhető rendszabályokon alapul. Az aktív elektronikai védelem az elektromágneses spektrum hatékony felhasználását biztosító, az adóberendezések paramétereinek megváltoztatásán nyugvó, észlelhető rendszabályokon alapul*” [11]. Az alfejezet további részében néhány, az elektronikai védelem megoldásai közé tartozó javaslatot teszünk.

Több esetben megoldást jelenthet a katonai eljárások alkalmazása a polgári repülésirányításban is. Nem kell a legfejlettebb, legbonyolultabb műszaki megoldásokat átvenni, hiszen látható, hogy a probléma bár fennáll, jelenleg még nem olyan mértékű, hogy arra azonnali és jelentős költségigényű választ kelljen adni. Mindenképpen lényeges azonban, hogy a problémával foglalkozni kell, megoldást kell keresni megelőzve a problémát, hiszen egy bajban lévő repülőgépen már nincs sok idő, illetve lehetőség a megoldás megtalálására.

A védelmi lehetőségek vizsgálatánál az első kérdés a védendő rendszer, azaz kommunikációs rendszerről (repülésirányítás, repülőter üzemeltetés stb.), vagy radarrendszerről beszélünk. Kommunikációs rendszereknél, ha csak az információtartalom védelmére törekednénk, az egyszerűbb adatvédelmi megoldások is segítséget jelenthetnek, ehhez a kódolás a legalapvetőbb védelmi megoldás [21]. A kódolás például a korábban már említett elektronikai megtévesztés ellen jó megoldás lehet, azonban az elektronikai zavarás ellen nem.

A polgári repülésirányítás esetében is költséghatékonyan alkalmazható megoldás a különböző lokátorállomások, adótornyok – az elektronikai zavarás vonatkozásában – redundanciát biztosító távolságban, egymástól elkülönítve történő telepítése. Így biztosítható az, hogy a kisebb hatótávolságú elektronikai zavaróeszközök esetében például egy kieső rendszerelem által biztosított információ más, az elektronikai zavarásban nem érintett rendszerelemtől történő átvétele. A radarrendszerek esetében a többszörös radarlefedettség megnyugtató választ adhat erre a problémára, azonban nagyteljesítményű/hatótávolságú elektronikai zavarás esetében egy adott térségben valamennyi radar érintett lehet. Ebben az esetben megoldást jelenthet a polgári-katonai repülésirányítás közötti együttműködés, mivel a katonai rendszerek jóval fejlettebb védelmi megoldásokkal rendelkeznek.

Műszaki megoldások között szerepelhet a szórt spektrumú adásmódok<sup>22</sup> alkalmazása. Az adásmódok közös jellemzője, hogy jóval szélesebb frekvenciasávot igényelnek, mint az valójában szükséges lenne az adott információtartalom átviteléhez. Ezen jelek kategorizálhatóak úgy is, mint kis valószínűséggel felderíthető<sup>23</sup>, kis valószínűséggel észlelhető<sup>24</sup> vagy kis valószínűséggel megfejthető/kiaknázható<sup>25</sup> adásmódok. A három jel karakterisztikája eltér egymástól. LPI típusú technika a frekvenciaugratásos mód<sup>26</sup>. LPD típusú technika a direkt szekvenciális mód<sup>27</sup>.

---

<sup>22</sup> Spread spectrum signal

<sup>23</sup> Low Probability of Interception, LPI

<sup>24</sup> Low Probability of Detection, LPD

<sup>25</sup> Low Probability of Exploitation, LPE

<sup>26</sup> Frequency-hopping Spread Spectrum Technique, FHSST

<sup>27</sup> Direct-sequence Spread Spectrum Technique, DSSST

Ilyen eljárást alkalmaznak a kódosztásos többszörös hozzáférése moduláció<sup>28</sup> esetében. Szintén LPD típusú technika az időugratásos mód<sup>29</sup> [39]. „Az elektronikai hadviselés szempontjából a kiterjesztett spektrumú rendszereknek speciális jelentőségük van. Igen jó felderítés elleni védelemmel és zavarállósággal rendelkeznek. A keskeny-, de a szélessávú zavarokkal szemben is jó zavarvédelmet biztosítanak, hiszen a vett jelnek a vételi kódsorozattal való beszorzása a helyes szekvenciákat kiemeli, a zavarokat pedig szétszórja.” Ezen eljárás miatt a kiterjesztett spektrumú rendszerek lefogása nehéz, „mivel a szélessávú zavarás hatékonysága alacsony és a frekvenciakészlet (illetve az idő) több mint ötven százalékában ki kellene ütni a vett jeleket ahhoz, hogy a zavarás a kódjavító algoritmusok és hibajavító eljárások ellenére hatásos legyen” [20]. A kiterjesztett spektrumú rendszerek esetében a folyamatban lévő kommunikáció a rendszeren kívüli megfigyelő számára nagy sáv szélességű, zaj jellegű véletlen folyamatként észlelhető. A rendszeren belüli felhasználók – ismerte a csatornakódolás szabályosságát – dekódolni tudják az átküldött információt [20]. Napjaink technikai fejlesztései/megoldásai biztosítják azt, hogy egy már folyamatban lévő, szórt spektrumú adásmód alkalmazásával felépített kommunikációba megfelelő autentikációt követően a légtérbe érkező újabb repülőgépek személyzete is bekapcsolódjon. Figyelembe kell venni azt, hogy ezen esetben a különböző repülőgép, kommunikációs eszköz gyártóknak az interoperabilitás miatt mindenképpen ugyanazon szabványokat kell alkalmaznia, így biztosítva azt, hogy bármely repülőgép bármely területen képes legyen felvenni a kapcsolatot a repülésirányítással. Ebben az esetben problémaként jelentkezik, hogy a világ különböző területein az egyes repülőterek, repülésirányító szervezetek különböző frekvenciákat használnak, amelyek azonban a repülőgép-vezető állomány beprogramozhatnak a kommunikációs eszközbe.

Alkalmazható műszaki megoldás lehet a szoftverrádió technológia (Software Defined Radio) felhasználása is. A koncepció már alkalmazásra került a különböző kommunikációs és radar-eszközökben, amelynek továbbfejlesztett elgondolása a kognitív rádió. Ezen elgondolás lényege, hogy a frekvenciaspektrum folyamatos vizsgálatával megállapítja a szabad (nem zavart) frekvenciákat és amennyiben a saját üzemi frekvenciája zavarva van, áttér automatikusan egy nem zavart frekvenciára. A koncepció egyik legfontosabb kérdése a spektrum vizsgálata és a vizsgálat adatainak tárolása a folyamatos frekvenciasöpítés alatt. További kérdés a megfelelő söprési idő és felbontás kiválasztása. Nagyobb felbontás hosszabb söprési időt generál, azonban jóval pontosabb a mérési eredmény [15]. A fentiek alapján a repülőgép-vezető – repülésirányító közötti rádiózásban is vizsgálható az SDR alapú eszközök alkalmazása, figyelembe véve azt, hogy ebben az esetben is szigorú szabványokat kell előírni az interoperabilitás és az ugyanazon frekvenciára történő váltás módszerének (új frekvencia, a frekvenciaváltás pontos és egyeztetett időpontja stb.) érdekében.

---

<sup>28</sup> Code Division Multiple Access, CDMA

<sup>29</sup> Time-hopping Spread Spectrum Technique, THSST

## A JÖVŐ KIHÍVÁSAI

Napjainkban számos új technológia kerül kifejlesztésre és alkalmazásra a repülőtereken és a repülésben. Mindenképpen meg kell említeni a „Okos repülőtér<sup>30</sup>” koncepciót, vagy a távoli irányítással üzemeltetett repülőtér elgondolást.

Egyes források az okos repülőtér fejlődést három fázisra bontják, melyben megkülönböztetik az alapszolgáltatásokat nyújtó (Airport 1.0: Basic Airport Operations), az agilis (Airport 2.0: Agile Airports) és az okos (Airport 3.0: Smart Airports) repülőtereket. Az alapszolgáltatást nyújtó repülőterek esetében a fő hangsúly a biztonságos és hatékony üzemeltetésen van, repülőgép műveletek (fel és leszállás, egyéb műveletek) végrehajthatósága érdekében. Az ügyfelek, az utazók részére a legalapvetőbb szolgáltatásokat nyújtják, mint a csomagfelvétel, biztonság, check-in és alapvető éttermi szolgáltatások. Ebben az esetben a repülőtér tulajdonosa/üzemeltetője biztosítja az ingatlant, míg a légitársaságok és egyéb szolgáltatók ezen belül saját maguk alakítják ki az üzleti környezetüket. Az agilis repülőterek esetében a gyorsan változó technológiai fejlesztések már alkalmazásra kerülnek. Az üzleti partnerek korlátlanul és azonnal megosztják egymással az információkat egy, a repülőtér teljes egészében elérhető és közös platformon. A légitársaságok és a szolgáltatók a repülőtér menedzselt kommunikációs rendszerét, IP alapú hangszolgáltatásokat, Wi-Fi-t és videó megfigyelőrendszereket alkalmaznak. Ezen rendszerek alkalmazásával az agilis repülőterek fejlettebb működtetési környezetet, gyorsabb földi kiszolgálást és az utas kiszolgálásban magasabb színvonalat biztosítanak. Az okos repülőtér teljes mértékben kihasználja a technikai újítások nyújtotta lehetőségeket, a rendszerek egy digitális háló körül épülnek fel, amely a repülőtér ideghálózata jelenti. Erre az ideghálózatra az adott repülőtéren jelen lévő összes szereplő (repülőtársaságok, üzemanyag szolgáltatók, kereskedők, biztonsági cégek, vendéglátó cégek stb.) felcsatlakozhat, egymás között így valós idejű információcserét, teljes mértékű integrációt és együttműködést biztosítva. Ezen technológiai megoldások felhasználásával az okos repülőtér a másik kettő repülőtér típusnál még hatékonyabb és magasabb szintű szolgáltatásokat képes nyújtani. Az utazóközönség vonatkozásában a cél, hogy a lakásból történő kilépéstől egészen a beszállás pillanatáig végigkövessék és az aktuális helyzetnek megfelelően javaslatokkal, útmutatásokkal segítsék őket [40].

A koncepció alapján látható, hogy az információ nagy része vezeték nélküli adatviteli utakon kerülne továbbításra, illetve rendkívül fontos a GNSS rendszerek által biztosított lehető legpontosabb helyinformáció is. Ezen információk bármilyen mértékű kiesése, torzulása az összkép pontatlanságát okozza, megbízhatatlanná teszi a rendszert, melynek következményeképpen egy idő után a felhasználók elvesztik a bizalmukat a szolgáltatásban, rosszabb esetben balesetekhez is vezethet.

Egy másik, szintén napjaink egyik kutatott és több helyszínen is fejlesztés alatt álló koncepciója *„a lokális vagy a repülőtértől földrajzilag függetlenített (bármilyen távoli infrastrukturális) környezetben, egyéni repülőtéri megjelenítéssel vagy akár több repülőtér egyidejű kiszolgálását biztosító multi-rTWR (remote Tower) konfigurációban”* történő irányítás biztosítása [41]. *„Egy műveleti repülőtér távolból való irányítása tehát akkor működhet hatékonyan, ha olyan kommunikációs, hang és adatátviteli rendszerekkel párosul, melyek elősegítik a műveletek irányításáért felelős vezetők döntéseit is”* [42]. A fenti megállapítás azonban nemcsak a katonai,

---

<sup>30</sup> Smart Airport

hanem a polgári célú repülőterek esetében is helytálló. Így látható, hogy ebben a koncepcióban is robosztus vezeték-nélküli hang és adatátviteli megoldások kerülnek alkalmazásra, természetesen az alapvető radar és navigációs eszközök mellett.

A fenti kettő példán kívül további újítások/fejlesztések is bevezetésre kerülhetnek. Ezekre egy aktuális példa az „Implementation of Performance Based Navigation procedures in Hungary” projekt, melynek keretén belül megvalósul „*a műholdas megközelítések kivitelezése, a projekt további részeként pedig egy nemzeti GNSS (GPS, Galileo és GLONASS) jelmérő és -feldolgozó hálózat kiépítése is. A projektmegvalósítás ideje: 2017.09.01.–2020.02.29.*” [43].

### ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk első és második részében a repülőtereken és a repülésirányításban alkalmazott kommunikációs és nem-kommunikációs célú frekvenciák megismerésének, felfedésének lehetőségeit vizsgáltam. A harmadik részben az elektronikai zavaró eszközökhöz történő hozzáférést kutattam, a negyedik részben pedig a védelem lehetőségeit elemeztem.

A bemutatott esetekből látható, hogy az elektronikai zavarási események alapvetően nem szándékosan a repülés ellen irányultak, azonban a hatásuk akár katasztrofális is lehet. Az is látható, hogy az elektronikai zavaró eszközök napjainkban az internet révén könnyen elérhetőek akár Magyarországon is. Emiatt mindenképpen fontos a lehetséges védelmi megoldások elemzése.

Az első javaslatom az elektronikai zavaróeszközökhöz történő hozzájutás feltételeinek rendezésével kapcsolatos Magyarország vonatkozásában. Véleményem szerint itt egy olyan, a jogi szabályozásban fennálló hiányosság van, amit a jelenleg érvényben lévő jogszabályok betartása és betarthatósága érdekében megszüntetni szükséges. Erre lehetséges megoldás például az NMHH jog és hatáskörének kiterjesztése az ilyen eszközök magyarországi forgalmazásának ellenőrzésére. Mint azt korábban már említettem, a passzív zavarás eszközeül szolgáló dipóltöltetekhez történő hozzájutással és annak jogi szabályozásával kapcsolatban nincs javaslatom, mivel annak bonyolult felhasználása kizárja, hogy azt magánszemély be tudja szerezni és üzemeltetni tudja.

Lehetséges védelmi megoldásként javaslatot tettem továbbá egyrészt a nyíltan elérhető frekvenciaadatok védetté tételére, illetve az azokhoz történő hozzáférést a hozzáférést kérő személy azonosításához kötésére.

Javaslatot tettem továbbá a katonai rendszerekben már alkalmazott eljárások, képességek (pl. szórt spektrumú adásmódok) polgári repülésirányításban történő alkalmazására. De megoldást jelenthet például szoftverrádió technológia alkalmazásának bevezetése is, amely már magában hordozza a későbbi fejlesztés lehetőségét is. Fontos, hogy egy olyan, nemzetközileg elfogadott szabványban rögzített megoldást kell kialakítani és minden, a repüléssel kapcsolatos rendszereket gyártó cégnek alkalmazni, amely biztosítja a különböző országokban, a különböző repülőtereken a különböző radar, kommunikációs eszközök, valamint természetesen a repülőgépek közötti interoperabilitást.

Fontos az is, hogy az érintett személyi állomány megfelelő információval rendelkezzen az elektronikai zavarásról, mint lehetséges veszélyforrásról, így azt be kell integrálni a képzés rendszerébe, nem elegendő, ha arról csak személyzet egy szűk rétege tud. Ebben az esetben

tehát javaslom oktatni a repülő-gépvezetői, a repülésirányító, a radareszközöket kezelő állományt, illetve a műszaki üzemeltető állomány azon részét, amely egy incidens során kapcsolatba kerülhet a problémával.

A fenti rendszerek, eljárások alkalmazása mind a szándékos, mind a nem szándékos esetekben megoldást jelenthet. Ezen rendszerek és eljárások beintegrálása további elemzések/kutatások tárgyát kell, hogy képezze, ebbel beleértve a repülésre, repülésbiztonságra vonatkozó előírások, szabványok alkalmazását is. Ezen vizsgálatoknak ki kell térnie a „Smart repülőtér” és más jövőbe mutató koncepciók vizsgálatára is, mivel általánosságban kijelenthető, hogy ezen koncepciók egyik alapelve az információ gyors áramoltatása vezeték nélküli kommunikációs megoldások alkalmazásával.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Horváth József alezredes: A repülőtér, mint kritikus infrastruktúra. Sereg Szemle. XV. évfolyam, 3–4. szám, 2017. július–november., 30-47. oldal HU ISSN: 2060-3924
- [2] Horváth József: A repülés elektronikai zavarásának valós esetei. Repüléstudományi Közlemények. XXX. évfolyam. 2018/2. 7-24. oldal, ISSN: 1789-770X
- [3] Aviation Safety Reporting System. (online) url: <https://asrs.arc.nasa.gov/search/database.html> (2018.01.27.)
- [4] Palmer, Y.: Navy accidentally jammed gps system in San Diego. (online) url: <https://fieldlogix.com/news/navy-accidentally-jammed-gps-system-in-san-diego/>
- [5] Hambling, D.: GPS chaos: how a \$30 box can jam your life. (online) url: <https://www.newscientist.com/article/dn20202-gps-chaos-how-a-30-box-can-jam-your-life/>
- [6] Economist.com: No jam tomorrow. (online) url: <http://www.economist.com/node/18304246>
- [7] Gibbons, G.: FCC fines operator of gps jammer that affected Newark Airport ground-based augmentation system. (online) url: <http://www.insidegnss.com/node/3676>
- [8] Selleck, D.: GPS jamming at Cairo. (online) url: <http://flightservicebureau.org/gps-jamming-at-cairo/>
- [9] Cheng, K.: Police accused of jamming air traffic control radio with anti-explosive van during Indonesian president's visit. (online) url: <https://www.hongkongfp.com/2017/05/02/police-accused-jamming-air-traffic-control-radio-anti-explosive-van-indonesian-presidents-visit/>
- [10] Budapest Airport Zrt. Informatikai részleg által 2018.02.21-én részemre megküldött válasz.
- [11] Magyar Honvédség Összhaderőnemi Elektronikai Hadviselés Doktrína, 2. kiadás
- [12] Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság: Légiforgalmi célú hatósági frekvenciajegyzék. (online) url: [http://nmhh.hu/dokumentum/167067/frekvenciajegyzek\\_20150617.pdf](http://nmhh.hu/dokumentum/167067/frekvenciajegyzek_20150617.pdf)
- [13] FERIHEGYI Webmagazin. (online) url: <http://www.lhbp.hu/?q=node/15>
- [14] Amatőrrádiózás: Légi frekvenciák, repsáv. (online) url: <http://amatorradiozas.hu/frekvencia-kiosztasok/legi-frekvenciak-repsav>
- [15] DI, P., Wyglinski, A. M.: Digital Communication systems engineering with Software-Defined Radio. Artech House 2013. ISBN-13: 978-1-60807-525-6
- [16] József Horváth: Software Defined Radio concept in wireless solutions. Hadmérnök, XIII. Évfolyam 1. szám – 2018. március, 261-269. oldal, ISSN 1788-1919 (online) url: [http://www.hadmer-nok.hu/181\\_20\\_horvath.pdf](http://www.hadmer-nok.hu/181_20_horvath.pdf)
- [17] 7/2015. Nemzeti Média és Hírközlési Hatóság rendelete a nemzeti frekvenciafelosztásról, valamint a frekvenciasávok felhasználási szabályairól. (online) url: [https://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=a1500007.nmh](https://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=a1500007.nmh)
- [18] Tóth J.: Rádió és elektronikus léginavigáció. HungaroControl Repülésoktatási központ. 2005.
- [19] Ványa L.: A műholdas helymeghatározó rendszerek elektronikai hadviselési kérdései. Repüléstudományi közlemények 2016/2. (online) url: [http://epa.oszk.hu/02600/02694/00071/pdf/EPA02694\\_rtk\\_2016\\_02\\_145-152.pdf](http://epa.oszk.hu/02600/02694/00071/pdf/EPA02694_rtk_2016_02_145-152.pdf)
- [20] Haig Zs., Kovács L., Ványa L., Vass S.: Elektronikai hadviselés. Budapest, 2014., ISBN 978-615-5305-87-0
- [21] ADAMY D. L.: EW against a new generation of threats. Egyesült Királyság. Artech House kiadó. 2015. ISBN 13: 978-1-60807-869-1
- [22] HungaroControl Zrt. rádió-kommunikációs szakreferense által 2018.03.22-én részemre megküldött válasz.



- [23] National Weather Service (NWS): Chaff on Radar: April 22, 2016. (online) url: <https://www.weather.gov/ilm/RadarChaff>
- [24] The National Severe Storms Laboratory: Multi-Radar/Multi-Sensor System (MRMS) (online) url: <https://www.nssl.noaa.gov/projects/mrms/>
- [25] Postai és Távközlési Igazgatások Európai Értekezlet Elektronikus Hírközlési Bizottságának ECC/REC/(04)01 számú ajánlása. (online) url: <http://www.erodocdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/REC0401.PDF>
- [26] Szövetségi Hírközlési Bizottság: Jammer enforcement. (online) url: <https://www.fcc.gov/general/jammer-enforcement>
- [27] 156/2017. (VI. 16.) kormányrendelet a haditechnikai tevékenység engedélyezésének és a vállalkozások tanúsításának részletes szabályairól. (online) url: [https://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=A1700156.KOR&ti-meshift=ffffff4&xtreferer=00000001.TXT](https://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1700156.KOR&ti-meshift=ffffff4&xtreferer=00000001.TXT)
- [28] Origo.hu: Tilos, de használják a mobilblokkolókat. (online) url: <http://www.origo.hu/tech-bazis/hightech/20081114-tilos-de-hasznaljak-a-gps-es-gsmblokkolokat-jammereket.html>
- [29] 7/2012. NMHH rendelet a polgári frekvenciagazdálkodás egyes hatósági eljárásairól. (online) url: [http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=A1200007.NMH](http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1200007.NMH)
- [30] GPS blokkoló. (online) url: <http://www.vatera.hu/listings/index.php?q=gps+blokkol%C3%B3&c=0>
- [31] JammerFromChina Co.: Mobile Phone Jammers. (online) url: [http://www.jammerfromchina.com/categories/Mobile\\_Phone\\_Jammers/](http://www.jammerfromchina.com/categories/Mobile_Phone_Jammers/)
- [32] Robert Horonjeff-Francis X. McKelvey-William J. Sproule-Seth B. Young: Planning & Design of Airports. McGraw-Hill Companies Inc. ISBN 978-0-07-144641-9
- [33] Ernszt I.: A Nemzetközi légitörvény védelme. Károli Gáspár Református Egyetem Állam- és Jogtudományi Kar. Budapest. 2010. ISBN 978-963-9808-23-2
- [34] Az Európai Parlament és a Tanács 300/2008/EK számú rendelete a polgári légi közlekedés védelmének közös szabályairól és a 2320/2002/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről. (online) url: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=LEGISSUM:tr0028>
- [35] IATA Safety Audit Programs. (online) url: [http://www.iata.org/pressroom/facts\\_figures/fact\\_sheets/Documents/fact-sheet-safety-audits.pdf](http://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Documents/fact-sheet-safety-audits.pdf)
- [36] 169/2010. (V. 11.) Korm. rendelet a polgári légitörvény védelmének szabályairól és a Légitörvény Védelmi Bizottság jogköréről, feladatairól és működésének rendjéről. (online) url: [https://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=a1000169.kor](https://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=a1000169.kor)
- [37] Mudra I.: Repülőterek és repülőtéri berendezések. HungaroControl Zrt. Repülésoktatási és dokumentációs osztály. 2007. Budapest.
- [38] Dr. Angyal Z.: Légitörvényi jog az Európai Unióban. hvgorac Lap- és Könyvkiadó Kft. Budapest. 2011. ISBN 9789632581217.
- [39] Poisel R. A.: Electronic warfare receivers and receiving systems. Egyesült Királyság. Artech House kiadó. 2014. ISBN 13: 978-1-60807-847-1
- [40] Dr. Fattah A., Lock H., Buller W. – Kirby S.: Smart Airports: Transforming Passenger Experience To Thrive in the New Economy. 2-3 o. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG) (online) url: [https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/about/ac79/docs/pov/Passenger\\_Exp\\_POV\\_0720aFINAL.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/pov/Passenger_Exp_POV_0720aFINAL.pdf)
- [41] Dudás D., Somosi V., Rohács D.: A remote tower technológia polgári és katonai alkalmazási lehetőségei. Repüléstudományi közlemények. 2017/1. 205-218. oldal. (online) url: [http://epa.oszk.hu/02600/02694/00073/pdf/EPA02694\\_rtk\\_2017\\_01\\_205-218.pdf](http://epa.oszk.hu/02600/02694/00073/pdf/EPA02694_rtk_2017_01_205-218.pdf)
- [42] Vas Tímea: Műveleti repülőtér forgalmának irányítás a virtuális felületeken. Repüléstudományi közlemények. 2017/1. 67-74. oldal. (online) url: [http://hadmernok.hu/144\\_07\\_vast.pdf](http://hadmernok.hu/144_07_vast.pdf)
- [43] HungaroControl ZRT: Hét polgári és három katonai repülőtér fejlesztésére kerül sor. (online) url: <http://www.hungarocontrol.hu/sajtoszoba/hirek/pbn4hu>

### ***THE DEFENCE OF THE AVIATION AGAINST ELECTRONIC JAMMING***

*This article is the part of my study about the defence of the aviation, as critical infrastructure, against the electronic jamming. In this article I deal with the jamming and possible defence of the frequency spectrum based systems used in the aviation and in the operation of the airports. My goal is to look for a higher level of protection solutions using the results of the analysis of the recently applied procedures, and to make proposals for their application.*

**Keywords:** *critical infrastructure, aviation, electronic jamming*

---

Horváth József (MSc)  
doktorandusz  
Nemzeti Közsolgálati Egyetem  
Katonai Műszaki Doktori Iskola  
horvath0101@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-2743-3522

Horváth József (MSc)  
PhD Aspirant  
National University of Public Service  
Doctoral School of Military Engineering  
horvath0101@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-2743-3522

---

  
„Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3-IV-NKE-16 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült”



<http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2018.pdf>

## GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK OPTIMÁLIS MUNKAPONTJAINAK VIZSGÁLATA A SZÁMÍTÁSTECHNIKA SEGÍTSÉGÉVEL

*A valós gázturbinás körfolyamatok, adott hőmérséklet határok között és gépegység veszteségek mellett, mind a fajlagos hasznos munka, mind pedig a termikus hatásfok szempontjából rendelkeznek optimumokkal, amelyeket a kompresszor nyomásviszonyával lehet jellemezni. Bonyolítja a helyzetet, hogy a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok maximumaihoz tartozó nyomásviszony értékek eltérnek egymástól. Ebben a tanulmányban bemutatott termikus matematikai modell lehetővé teszi a maximális fajlagos hasznos munka és a maximális termikus hatásfok és a hozzájuk tartozó kompresszor nyomásviszony, valamint a kompromisszumos optimumkeresés jegyében a szorzatuk maximumához tartozó nyomásviszony meghatározását is. Tovább lépve a modell alkalmazásával elvégezhető a gázturbinák paraméter-érzékenységi vizsgálata, valamint átfogó termikus elemzése.*

**Kulcsszavak:** gázturbinás körfolyamat, fajlagos hasznos munka, termikus hatásfok, kompresszor nyomásviszony, optimális munkapontok, paraméter-érzékenység

### Alkalmazott jelölések:

- $\eta_t$  – a hajtómű valós termikus hatásfoka [%];
- $P$  – a hajtómű tengelyteljesítménye [W, (kW)];
- $F_{\text{üi}}$  – a tüzelőanyag fűtőértéke (kerozin: 43217080 J/kg);
- $\dot{Q}_b$  – hőáram, a hajtóműbe másodpercenként bekerülő hőmennyiség [J/s];
- $\dot{m}_{\text{tüze}}$  – a hajtómű tüzelőanyag fogyasztása [kg/s];
- $\bar{c}$  – a hajtómű fajlagos tüzelőanyag fogyasztása [kg/Nh, kg/kWh];
- $\oint du$  – a körfolyamat közben a rendszer fajlagos belső energiájának változása [J/kg];
- $\oint dw$  – a körfolyamat közben a fajlagos munkából származó energia csere [J/kg];
- $\oint dq$  – a körfolyamat közben a fajlagos hőből származó energia csere [J/kg];
- $w_h$  – a körfolyamat fajlagos hasznos munkája [J/kg];
- $w_e$  – a körfolyamat fajlagos expanziós munkája [J/kg];
- $w_k$  – a körfolyamat fajlagos kompressziós munkája [J/kg];
- $q_b$  – a körfolyamatba bevitt fajlagos hő [J/kg];
- $q_k$  – a körfolyamat közben a fajlagos hőnek munkává át nem alakítható része (elvont hő) [J/kg];
- $F$  – a gázturbinás hajtómű tolóereje [N];
- $P_s$  – tolóerőt adó gázturbinás hajtóművek sugárteljesítménye, a munkaközeg kinetikai energiájának változása a belépő és kilépő keresztmetszetek között [W];
- $c_{ki}$  – a munkaközeg sebessége a gázturbinás hajtómű kilépő keresztmetszetben [m/s];
- $\dot{m}$  – a hajtómű leírásokban megadott névleges tömegáram [kg/s];
- $\pi$  – kompresszor nyomásviszony [-];
- $w_h(\pi)$  – fajlagos hasznos munka, mint a kompresszor nyomásviszony függvénye [J/kg];
- $T_1$  – kompresszor előtti hőmérséklet [K];
- $T_2$  – kompresszor kilépő keresztmetszetének hőmérséklete [K];
- $T_3$  – turbina előtti gázhőmérséklet [K];
- $T_4$  – hajtómű kilépő keresztmetszetének gázhőmérséklete [K];

- $c_p$  – állandó izobár fajhő (hőmérséklet és gázösszetétel függés elhanyagolva) [J/kgK];
- $\kappa$  – adiabatikus kitevő (hőmérséklet és gázösszetétel függés elhanyagolva) [-];
- $\eta_{ii}$  – ideális körfolyamat termikus hatásfoka [%];
- $\eta_t(\pi)$  – a körfolyamat valós termikus hatásfoka a kompresszor nyomásviszony függvényében [%];
- $q_b(\pi)$  – a körfolyamat során a folyamatba bevitt fajlagos hő a kompresszor nyomásviszony függvényében [J/kg];
- $\kappa_l, \kappa_g$  – adiabatikus kitevő a kompresszióra és expanzióra [-];
- $c_{pb}, c_{pé}, c_{pg}$  – izobár fajhő a kompressziós az égési és az expanziós folyamatokra [J/kgK];
- $\sigma$  – a hajtómű nyomásveszteségi tényezője (szívócsatorna, égőtér, gázelvezető rendszer, egyebek) [-];
- $\eta_{polk}, \eta_{pole}$  – a kompresszió és az expanzió politrópikus hatásfoka [%];
- $\eta_m$  – mechanikai hatásfok, figyelembe véve a segédberendezések teljesítmény felvételét [%];
- $\eta_é$  – égési hatásfok [%];
- $\pi_{w_{h,max}}$  – max. fajlagos hasznos munkához tartozó kompresszor nyomásviszony [-];
- $\pi_{\eta_i, max}$  – a maximális termikus hatásfokhoz tartozó kompresszor nyomásviszony [-];
- $\pi_{opt}$  – a keresett közös optimumhoz tartozó kompresszor nyomásviszony [-];
- $c_p(T, q_t)$  – az adott termodinamikai folyamat állandó nyomáson vett fajhője [J/kgK];
- $R(q_t)$  – a termodinamikai folyamat specifikus gázállandója [J/kgK];
- $\kappa(T, q_t)$  – a termodinamikai folyamat adiabatikus kitevője [-];
- $q_t = \dot{m}_{tűza} / \dot{m}$  – az égőtérben a tüzelőanyag és a levegőáram viszonyozása, ami utal az égéstermék összetételére [-];
- $T$  – a termodinamikai folyamat középhőmérséklete [K];
- $x_i, y_i$  – az állandó nyomáson vett fajhő meghatározásához alkalmazott polinom együtthatói [-];
- $\Delta w_h(\%)$ : – a fajlagos hasznos munka százalékos megváltozása [%];
- $w_{h/akt}$  – a fajlagos hasznos munka értéke az adott gépegység hatásfok (veszteség) 1%-os romlásakor [J/kg];
- $w_{h/bázis}$  – a fajlagos hasznos munka kiinduló értéke [J/kg];
- $\Delta \eta_t(\%)$ : – a termikus hatásfok százalékos megváltozása [%];
- $\eta_{t/akt}$  – a termikus hatásfok értéke az adott gépegység hatásfok (veszteség) 1%-os romlásakor [%];
- $\eta_{t/bázis}$  – a termikus hatásfok kiinduló értéke [%];
- $P_k(\pi)$  – a kompresszor szükséges teljesítménye figyelembe véve a levegőelvételeket és a mechanikai hatásfokot (ez utóbbiban a segédberendezések teljesítmény-felvételét is) [W];
- $\dot{m}_{\% elv, i}$  – az i-edik levegőelvétel %-os értéke a hajtómű névleges tömegáramához képest [%];
- $\dot{m}_{\% elv, 1}$  – használati levegőelvétel %-os értéke a hajtómű névleges tömegáramához képest [%];
- $\dot{m}_{\% elv, 2}$  – hűtőlevegő elvétel %-os értéke a hajtómű névleges tömegáramához képest [%];
- $l_{\% i}$  – az i-edik levegőelvétel helye [%];
- $l_{\%}$  – a használati levegőelvétel helye [%];
- $w_k(\pi)$  – a szükséges fajlagos kompresszormunka [J/kg];

- $Q_b(\pi)$  – az égőtérben az üzemanyag elégetésével bevitt hőmennyiség, figyelembe véve a levegőelvételeket [W];
- $q_b(\pi)$  – az égőtérben az üzemanyag elégetésével bevitt fajlagos hőmennyiség, figyelembe véve a levegőelvételeket [J/kg];
- $P_e(\pi)$  – az expanzió (kompresszor és szabad turbina összegzett) tengely-teljesítménye [W];
- $c_{pgi}$  – az  $i$ -edik hűtőlevegő-áramhoz tartozó izobár fajhő [J/kgK];
- $\kappa_{gi}$  – az  $i$ -edik hűtőlevegő-áramhoz tartozó adiabatikus kitevő [-];
- $T_i$  – az  $i$ -edik hűtőlevegő-áram hőmérséklete [K];
- $\sigma_i$  – az  $i$ -edik hűtőlevegő-áram nyomásveszteségi tényezője [-];
- $\pi_i$  – az  $i$ -edik hűtőlevegő-áram nyomásviszonya [-];
- $w_e(\pi)$  – az expanzió fajlagos munkája a hajtómű névleges tömegáramára vetítve [J/kg];
- $\eta_{polk(i)}$  – az  $i$ -edik fokozat politrópikus hatásfoka [%];
- $\eta_{polk(0)}$  – a kompresszor belépő keresztmetszet politrópikus hatásfoka zérus lapátrés értéket feltételezve [%];

## BEVEZETÉS

Gázturbinás hajtóművek fajlagos hasznos munkája és termikus hatásfoka olyan jellemzők, amelyek alapvetően meghatározzák a hajtóművek jósági fokát. A fajlagos munka, illetve hő a rendszerben megjelenő munka és hő tömegegységre vonatkoztatott értékét jelenti [J/kg]. A körfolyamatok termodinamika összefüggései alapján a (fajlagos) hasznos-munka a körfolyamat (fajlagos) expanziós és kompressziós munkájának különbsége, illetve más megfontolással a folyamat során bevitt és elvont (fajlagos) hő különbsége (1).

$$\oint du = \oint dw + \oint dq = 0 \quad \rightarrow \quad \oint dw = -\oint dq \quad \rightarrow \quad w_h = w_e - w_k = q_b - q_k \quad (1)$$

A termikus hatásfok a (fajlagos) hasznos-munka és folyamat során bevitt (fajlagos) hő hányadosa (2.2). Jelen esetben, a fajlagos hasznos munkát a bevitt és elvont fajlagos hő különbségeként határoztam meg. Ez az összefüggés (2) minden munkát adó körfolyamatra (hőerőgépre) érvényes.

$$\eta_t = \frac{w_h}{q_b} = \frac{q_b - q_k}{q_b} = 1 - \frac{q_k}{q_b} \quad (2)$$

A valós gázturbinás körfolyamatok, adott hőmérséklet határok között és gépegység veszteségek mellett, mind fajlagos hasznos munka, mind pedig termikus hatásfok szempontjából rendelkeznek maximális értékekkel, amelyeket a kompresszor nyomásviszonyával lehet jellemezni. A fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok maximumaihoz tartozó nyomásviszony értékek azonban jelentősen eltérnek egymástól. Ennek megfelelően egyszerre nem produkálható mindkét optimum. Az elkészített termikus matematikai modell segítségével meghatározható a maximális fajlagos hasznos munkához, a maximális termikus hatásfokhoz és a kompromisszumos optimumkeresés jegyében a szorzatuk maximumához tartozó nyomásviszony, illetve számítható a hozzájuk tartozó fajlagos hasznos munka és termikus hatásfok értékek. A modell segítségével elvégezhető a gázturbinás hajtóművek paraméter-érzékenységi vizsgálata, miközben a program lehetővé teszi, a levegőelvételek figyelembevételét, valamint a hajtómű geometriai méreteinek fajlagos jellemzőire gyakorolt hatását.

Természetesen, egy gázturbinás hajtóműtől, mint minden hőerőgéptől, azt várjuk, hogy a létrehozott hasznos munka, illetve fajlagos hasznos munka és termikus hatásfok minél nagyobb legyen. Különösen igaz ez az utóbbi kettőre, mivel ezek a hajtóművek méretétől független jellemzők, ami egyben lehetővé teszi összehasonlításukat.

## VALÓS GÁZTURBINA KÖRFOLYAMATOK OPTIMÁLIS MUNKAPONTJAI<sup>1</sup>

Valós gázturbina körfolyamatoknál, adott hőmérséklet határok között és gépegység hatásfokok (veszteségek) mellett a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok is rendelkezik optimummal, amit a kompresszor nyomásviszonyával lehet jellemezni. Bonyolítja a helyzetet, hogy a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok maximumaihoz tartozó nyomásviszony értékek jelentősen eltérnek egymástól. Ebben az alfejezetben e nyomásviszonyok meghatározásának elméleti hátterét mutatom be.

### Maximális fajlagos hasznos munka és a hozzátartozó nyomásviszony meghatározása

Első lépésként most is felírjuk a gázturbinára a termikus körfolyamat fajlagos hasznos munkáját kifejező (3) összefüggést az expanzió és kompresszió munka különbségeként, figyelembe véve a gépegység veszteségeit és a gázjellemzők hőmérséklet függését [1][2]. Ez egy olyan függvény, ahol adott hőmérséklet határok és a folyamat veszteségeinek rögzítése mellett a fajlagos hasznos munka a kompresszor nyomásviszony függvénye. A veszteség értékeket a levezetés elvégzése után tapasztalataimra hagyatkozva adom meg [2].

$$w_h(\pi) = c_{pg}T_3 \left( 1 - \frac{1}{(\sigma\pi)^{\frac{\kappa_g-1}{\kappa_g}} \eta_{pole}} \right) - \frac{c_{pl}T_1}{\eta_m} \left( \pi^{\frac{\kappa_l-1}{\kappa_l} \frac{1}{\eta_{polk}}} - 1 \right) \quad (3)$$

Hogy meghatározzuk a maximális fajlagos hasznos munka értékét a függvény első deriváltját kell egyenlővé tenni zérussal (4).

$$w_h(\pi) \text{ maximuma, ahol: } \frac{dw_h(\pi)}{d\pi} = 0 \quad (4)$$

A deriválást elvégezve az alábbi egyenletet (5) kapjuk:

$$w_h'(\pi) = \frac{c_{pg}T_3}{\sigma^{\frac{\kappa_g-1}{\kappa_g}} \eta_{pole}} \cdot \frac{\kappa_g-1}{\kappa_g} \cdot \eta_{pole} \cdot \pi^{-\frac{\kappa_g-1}{\kappa_g} \eta_{pole} - 1} - \frac{c_{pl}T_1}{\eta_m} \cdot \frac{\kappa_l-1}{\kappa_l} \cdot \frac{1}{\eta_{polk}} \cdot \pi^{\frac{\kappa_l-1}{\kappa_l} \frac{1}{\eta_{polk}} - 1} \quad (5)$$

Az egyenletet zérussal egyenlővé téve és mindkét oldalának  $\pi^{-1}$  való osztása után a (6) egyenletet kapjuk a maximális fajlagos hasznos munkához tartozó nyomásviszony értékére ( $\pi_{w_h \max}$ ).

$$\pi \left( \frac{\eta_m \eta_{pole} \eta_{polk}}{\sigma^{\frac{\kappa_g-1}{\kappa_g}} \eta_{pole}} \cdot \frac{c_{pg}(\kappa_g-1) \cdot \kappa_l}{c_{pl}(\kappa_l-1) \cdot \kappa_g} \cdot \frac{T_3}{T_1} \right)^{\frac{1}{\frac{\kappa_g-1}{\kappa_g} \eta_{pole} + \frac{\kappa_l-1}{\kappa_l} \frac{1}{\eta_{polk}}}} = w_h \max \quad (6)$$

<sup>1</sup> Munkapont: a turbina előtti maximális gázhőmérséklet és kompresszor nyomásviszony által meghatározott aktuális üzemiállapot.

## Maximális termikus hatásfok és a hozzátartozó nyomásviszony meghatározása

A folyamat termikus hatásfokát a fajlagos hasznos munka és a bevitt fajlagos hő hányadosaként definiálhatjuk. A fajlagos hasznos munka összefüggését már az előző fejezetben használtam (3). Az ott leírtak szerint a folyamat veszteségei és a hőmérséklet határok rögzítése mellett ez a kompresszor nyomásviszony függvénye. Igyekeznünk kell, hogy a bevitt hő értékét is a kompresszor nyomásviszonyának függvényében fejezzük ki az adott hőmérséklet határok között, illetve veszteségek mellett. Ezt szerencsésen meg is tehetjük, mivel a hőközlés kezdetének ( $T_2$ ) hőmérséklete kifejezhető a nyomásviszony függvényében a Poisson egyenlettel, lásd a (7) egyenlet nevezője.

$$\eta_t(\pi) = \frac{w_h(\pi)}{q_b(\pi)} = \frac{c_{pg} T_3 \left( 1 - \frac{1}{(\sigma \pi)^{\frac{\kappa_g - 1}{\kappa_g} \eta_{pole}}} \right) - \frac{c_{pl} T_1}{\eta_m} \left( \pi^{\frac{\kappa_l - 1}{\kappa_l} \eta_{polk}} - 1 \right)}{\frac{c_{pé}}{\eta_é} \left( T_3 - T_1 \cdot \pi^{\frac{\kappa_l - 1}{\kappa_l} \eta_{polk}} \right)} \quad (7)$$

Követve a fajlagos hasznos munka maximumának meghatározásánál alkalmazott függvényvizsgálati módszert, keressük a fenti (7) függvény maximumát (8).

$$\eta_t(\pi) \text{ maximuma ott lesz, ahol: } \frac{d\eta_t(\pi)}{d(\pi)} = 0 \quad (8)$$

A deriválás általános szabályait alkalmazva a (9) egyenletet kapjuk, majd az egyenletet zérussal egyenlővé téve a (10) egyenletet.

$$\eta_t'(\pi) = \frac{w_h'(\pi) \cdot q_b(\pi) - w_h(\pi) \cdot q_b'(\pi)}{[q_b(\pi)]^2} \quad (9)$$

$$0 = w_h'(\pi) \cdot q_b(\pi) - w_h(\pi) \cdot q_b'(\pi) \quad (10)$$

A tagok deriválásával kapjuk a (11)–(12) egyenleteket.

$$w_h'(\pi) = \frac{c_{pg} T_3}{\sigma^{\frac{\kappa_g - 1}{\kappa_g} \eta_{pole}}} \cdot \frac{\kappa_g - 1}{\kappa_g} \cdot \eta_{pole} \cdot \pi^{-\frac{\kappa_g - 1}{\kappa_g} \eta_{pole} - 1} - \frac{c_{pl} T_1}{\eta_m} \cdot \frac{\kappa_l - 1}{\kappa_l} \cdot \frac{1}{\eta_{polk}} \cdot \pi^{\frac{\kappa_l - 1}{\kappa_l} \eta_{polk} - 1} \quad (11)$$

$$q_b'(\pi) = -\frac{c_{pé}}{\eta_é} \cdot \frac{\kappa_l - 1}{\kappa_l} \cdot \frac{1}{\eta_{polk}} \cdot T_1 \cdot \pi^{\frac{\kappa_l - 1}{\kappa_l} \eta_{polk} - 1} \quad (12)$$

## Kisebb méret és tömeg, vagy alacsonyabb tüzelőanyag-fogyasztás?

A megelőző levezetésekéből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy két optimumot különböztethetünk meg a hozzájuk tartozó nyomásviszonyokkal. Nevezetesen ahol  $w_h'(\pi) = 0$  (maximális a fajlagos hasznos munka), illetve ahol  $\eta_t'(\pi) = 0$  (maximális a termikus hatásfok), adott hőmérséklet határok között, valamint gépegység hatásfokok és veszteségek mellett.

Mindkettőre természetesen nem lehet optimalizálni a hajtóműveket, de abban biztosak lehetünk, hogy a munkapontot nagy valószínűséggel a két nyomásviszony ( $\pi_{w_h, \max}$  és  $\pi_{\eta, \max}$ ) közé illesztik. A korai hajtóműveknél, ahol a kompresszorok nyomásviszonya alacsonyabb volt, már csak kényszerből is a munkapont a maximális fajlagos hasznos munkát adó nyomásviszonyhoz volt közelebb, ami relatíve magasabb fajlagos hasznos munkát és ezzel például helikopter hajtóművek esetében nagyobb tengely-teljesítményt biztosított alacsonyabb termikus hatásfok mellett. A rosszabb termikus hatásfok természetesen együtt járt a magasabb (fajlagos) tüzelőanyag-fogyasztással is. Megjegyzendő, hogy a 60-as években a magasabb tüzelőanyag fogyasztás és a vele járó nagyobb költség és környezeti terhelés nem is okozott senkinek különösebb fejfájást. Ez manapság alapvetően megváltozott még a katonai repülés területén is.

Továbbra is kérdés azonban, hogy hová kerüljön a munkapont? Bármit választunk – kicsit pongyolább kifejezést használva – fájni fog, vagy a fajlagos hasznos munka, vagy a termikus hatásfok (fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás) szempontjából. Természetesen valamilyen szempontrendszer szerinti megpróbálhatunk kompromisszumot találni.

### Közös optimális munkapont meghatározásának lehetősége

A közös optimális munkapont meghatározásához a korábban leírtak szerint valamilyen feltételt kell felállítanunk. Természetesen a tervezők fejében sok minden járhat, de kompromisszumos megoldásként jó közelítésnek tűnik, hogy arra a nyomásviszonyra, (adott hőmérséklet határok között és veszteségek mellett) vegyük fel a végleges munkapontot, ahol a termikus hatásfok és a fajlagos hasznos munka szorzata maximális. Ezzel a feltétellel, alkalmazva az előző függvényvizsgálati módszereket, ismét meghatározhatunk egy nyomásviszonyt, amely értelemszerűen az előző két nyomásviszony közé esik. Habár ennél mind a fajlagos hasznos munka, mind pedig a termikus hatásfok alacsonyabb lesz a lehetséges maximális értéknél, de a fajlagos hasznos munka csökkenése még elfogadható a termikus hatásfok növekedéséért cserébe.

Jelen pillanatban még semmit sem tudunk a létező hajtóművek fent tárgyalt nyomásviszony tartományba történő illesztéséről. Ez csupán egy gondolkísérlet és csak a későbbiekben derülhet ki, hogy a gyártók milyen szempontokat vesznek figyelembe a munkapont illesztésénél. Számomra további praktikus hasznot jelent, hogy az elkövetkező paraméterérzékenységi vizsgálatok során ez a közös optimumot jelentő munkapont fogja adni az elfogadott nyomásviszonyt (13) az adott turbina előtti maximális gázhőmérséklethez.

$$\pi_{opt} \Rightarrow \eta_t(\pi) \cdot w_h(\pi) = \max \Rightarrow \frac{d[\eta_t(\pi) \cdot w_h(\pi)]}{d(\pi)} = 0 \quad (13)$$

$$\begin{aligned} 0 &= [\eta_t(\pi) \cdot w_h(\pi)]' = \left( \frac{[w_h(\pi)]^2}{q_b(\pi)} \right)' = \frac{2 \cdot w_h(\pi) \cdot w_h'(\pi) \cdot q_b(\pi) - [w_h(\pi)]^2 \cdot q_b'(\pi)}{[q_b(\pi)]^2} = \\ &= \frac{w_h(\pi)}{[q_b(\pi)]^2} \cdot [2 \cdot w_h'(\pi) \cdot q_b(\pi) - w_h(\pi) \cdot q_b'(\pi)] = 2 \cdot w_h'(\pi) \cdot q_b(\pi) - w_h(\pi) \cdot q_b'(\pi) \end{aligned} \quad (14)$$

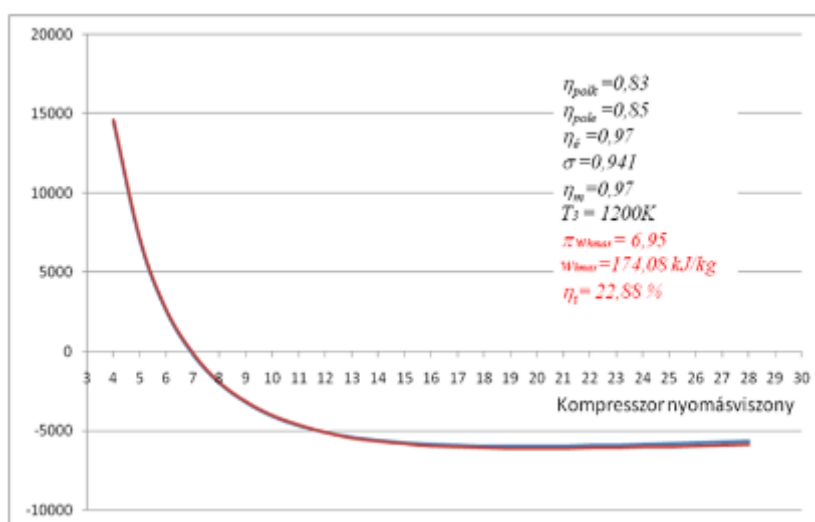


Megjegyzendő, hogy a szorzat első tagja (14) a vizsgált tartományban nem lehet zérus, ennek következtében a szorzat második tagjának kell egyenlőnek lenni zérussal, lehetővé téve az egyenlet egyszerűsítését.

### A munkapontok meghatározásának nehézségei

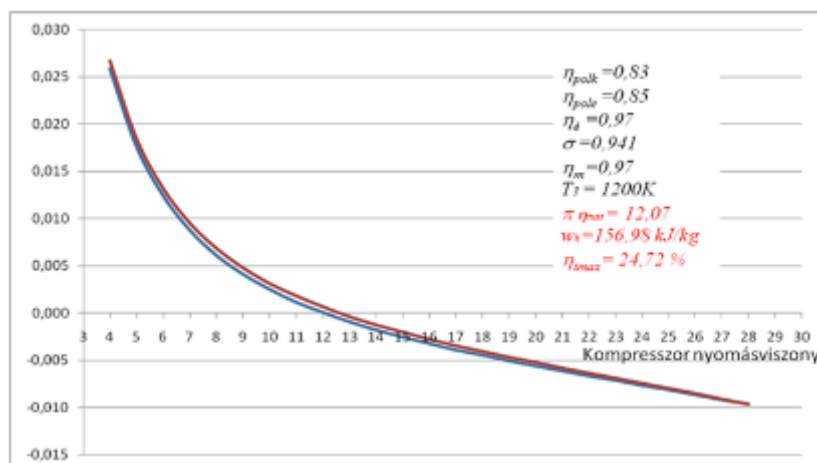
Viszonylag egyszerűen kifejeztem a maximális fajlagos hasznos munkához tartozó kompresszor nyomásviszonyt (6), de a  $\eta_t'(\pi) = 0$  (10) és a  $[\eta_t(\pi) \cdot w_h(\pi)]' = 0$  (14) egyenletek esetében nem fejezhető ki az aktuális kompresszor nyomásviszony. Ezért az  $\eta_t'(\pi) = 0$  és az  $[\eta_t(\pi) \cdot w_h(\pi)]' = 0$  függvények zérus helyeihez tartozó kompresszor nyomásviszonyok meghatározásához más módszert kell találni. Ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy a kompresszor nyomásviszony változásával folyamatosan változnak a kompresszió, az égés és az expanzió hőmérséklet határai, ami hatással lesz a gázjellemzőkre. Nehézséget okoz, hogy a későbbi alkalmazás során a gázjellemzőket ( $\kappa$ ;  $\kappa_g$ ;  $c_{pl}$ ;  $c_{pg}$ ;  $c_{pe}$ ) a korrekt hőmérséklet határoknak és égéstermék összetételének megfelelően vegyük fel. A második probléma is ott rejlik az előző mondatban, miszerint, ha a gázjellemzők értékei a hőmérséklet tartományon keresztül függenek a nyomásviszonytól, akkor ezekben is ott rejtőzik a kompresszor nyomásviszony, mint változó, amit a függvény deriválásakor is figyelembe kellene venni. Így a fenti függvények kompresszor nyomásviszony szerinti derivált függvényének meghatározása a függvény deriválásával nagyon nehézkes. Ennek megfelelően új megoldás felé kell fordulni, nevezetesen meg kell oldani a függvények számítógéppel támogatott deriválását. Ehhez a feladathoz Microsoft Excel programot használtam Visual Basic programozással kiegészítve. Ezen belül az Excel program csak az input output adatok platformját biztosítja, a Visual Basic programnyelven írt program pedig adja a következő fejezetekben ismertetésre kerülő termikus modell bázisát.

A program elkészítése után sort kerítettem arra is, hogy összehasonlítsam, hogy a gázjellemzők nyomásviszony függésének elhanyagolása milyen mértékben lesz hatással a keresett nyomásviszonyok értékeire. A turbina előtti gázhőmérséklet tetszőlegesen felvehető 1100–1800 K tartományban, amit a jelen példában 1200 K-re vettem fel.



1. ábra A  $w_h(\pi)$  függvény derivált függvénye a gázjellemzők nyomásviszony függésével és anélkül

Láthatóan a fajlagos hasznos munka derivált függvényének képe (1. ábra) alig változik a gázjellemzők nyomásviszony függésének elhanyagolásával (a piros és kék görbe fedí egymást). Ez igaz a teljes hőmérséklet tartományra. A termikus hatásfok derivált függvényének képe (2. ábra) jelentősebb eltérést mutat, ahol a baloldali (kék) görbe jelzi a pontos (szoftveres) deriválás képét. Ennél a turbina előtti gázhőmérsékletnél a zérus helyek közötti eltérés (a maximális termikus hatásfokhoz tartozó nyomásviszony helye) kb. 0,5. A gázhőmérséklet növekedésével ez az eltérés eléri a 4–5-ös nyomásviszony különbséget is. Ennek megfelelően a későbbiekben a nyomásviszonyok meghatározásánál a függvények szoftveres deriválását fogadtam el.



2. ábra Az  $\eta(\pi)$  függvény derivált függvénye a gázjellemzők nyomásviszony függésével és anélkül

Ugyanakkor itt találkozunk a tanulmányban először azzal, hogy mekkora eltérés adódik a maximális fajlagos hasznos munka és a maximális termikus hatásfokhoz tartozó nyomásviszonyok között. Az 1. és 2. ábrákon a derivált függvények zérus helyei jelzik ezeket a nyomásviszony értékeket. Ez a két nyomásviszony természetesen csak az ábrákon megjelenített bemenő feltételek mellett igaz. Ugyanakkor az ábrákon olvashatóak a keresett nyomásviszonyokhoz tartozó fajlagos hasznos munka és termikus hatásfok értékek jelezve a lehetséges nyomásviszony tartomány két végpontja közötti jelentős eltérést mindkét jellemző tekintetében (174,08 kJ/kg  $\Rightarrow$  156,98 kJ/kg és 22,88%  $\Rightarrow$  24,72%).

### Gázjellemzők meghatározása az adott hőmérséklet tartományra és gázösszetételre

Mivel a gázjellemzők függenek mind a hőmérséklettől, mind pedig a folyamatban résztvevő gáz összetételétől, így figyelmet kell fordítani, hogy a gázjellemzőket ( $\kappa$ ;  $\kappa_g$ ;  $c_p$ ;  $c_{pg}$ ;  $c_{pé}$ ) a korrekt hőmérséklet határoknak és égéstermék összetételének megfelelően vegyük fel. Erre az általam már korábban a BME-s tanulmányaim során megismert polinom függvényes közelítést alkalmaztam, ahol az állandó nyomáson vett fajhő,  $c_p(T, q_t)$  a következő összefüggéssel (15) fejezhető ki, ahol a polinom együtthatóit az 1. táblázat tartalmazza [2]:

$$c_p(T, q_t) = \sum_{i=0}^7 \frac{q_i \cdot y_i + x_i}{q_i + 1} \cdot \left( \frac{T}{1000} \right)^i \quad (15)$$

i	x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub>
0	1043,7970	614,786
1	-330,6087	6787,993
2	666,7593	-10128,910
3	233,4525	9375,566
4	-1055,3950	-4010,937
5	819,7499	257,610
6	-270,5400	310,530
7	33,6067	-67,426

1. táblázat Az állandó nyomáson vett fajhő meghatározásához szükséges polinom együtthatói [2]

A specifikus gázállandót,  $R(q_t)$  kifejező összefüggés (16):

$$R(q_t) = 287,04 \cdot \frac{1+1,0775667q_t}{1+q_t} \quad (16)$$

Az adiabatikus kitevő értéke,  $\kappa(T, q_t)$  (17):

$$\kappa(T, q_t) = \frac{c_p(T, q_t)}{c_p(T, q_t) - R(q_t)} \quad (17)$$

## A HAJTÓMŰ KIEMELT MUNKAPONTJAI MEGHATÁROZÁSÁNAK GYAKORLATI KIVITELEZÉSE

### A program kezelői felülete, bemenő adatok és tartományaik

A programba bemenő adatokként a 2. táblázatban felsorolt változókat vihetjük be.

Változók	Tartomány	Aktuális érték
Turbina előtti gázhőmérséklet	1100–1800 K	1200 K
Szívócsatorna nyomásveszteségi tényező	0,9–1	0,99
Kompresszió politrópus határfoka	0,7–1	0,83
Égőtér nyomásveszteségi tényező	0,9–1	0,97
Égőtér határfok	0,9–1	0,97
Az expanzió politrópus határfoka	0,7–1	0,85
Gázvezető nyomásveszteségi tényező	0,9–1	0,99
Egyéb nyomásveszteségek tényezője <sup>2</sup>	0,9–1	0,99
Gázgenerátor egység mechanikai határfoka	0,9–1	0,97
A nyomásviszony kiinduló értéke	4	

2. táblázat A programban felvehető változók tartománya

A könnyebb kezelhetőség miatt az előbb említett input adatokat a kezelői felületen a csúszkák segítségével a táblázat középső oszlopának megfelelő határok között állíthatjuk (3. ábra), amelyeknek kezdeti, általam tetszőlegesen felvett értékei a jobboldali oszlopban láthatóak. Megjegyzendő, hogy a gázgenerátor egység mechanikai határfoka itt tartalmazza a segédberendezések meghajtásának teljesítmény szükségletét is. Ezek a tartományok, illetve a kiinduló nyomásviszony értéke elegendő az általam vizsgált hajtómű kategória elemzésére, mivel fizikailag nem várható, hogy értékeik ezeken a tartományokon kívül essenek [1][2].

<sup>2</sup> Nyomásveszteségi tényező ( $p_v/p_i$ ): adott gépegység kilépő keresztmetszetében a valós (súrlódásos) és az ideális (súrlódásmentes) áramlás nyomásának viszonyozása.

A kezelői felületen a 2. táblázatban megadott bemenő adatok sorrendben a következők. Turbina előtti gázhőmérséklet [K] (T3), kompresszor politrópikus hatásfok (éta-pol-k), az expanzió politrópikus hatásfoka (éta-pol-e), égőtér hatásfok (éta-égő), diffúzor nyomásveszteségi tényező (szigma-dif), égőtér nyomásveszteségi tényező (szigma-égő), a gázelvező nyomásveszteségi tényezője (szigma-gázelv), a hajtómű egyéb összegzett nyomásveszteségi tényezője (szigma-egyéb), kompresszor mechanikai hatásfok (éte-mech-k). A turbina előtti gázhőmérséklet esetében a lépésköz 1 K, a hatásfokok és veszteségek értékei pedig 0,001 lépésközzel változtathatóak.

Indítás	max-fajl-munka	optimum	maximális hatásfok	aktuális
pi=	6,95	8,91	12,07	8,00
T3=	1200			
éta-pol-k=	0,83			
éta-pol-e=	0,85			
éta-égő=	0,97			
szigma-dif=	0,99			
szigma-égő=	0,97			
szigma-gázelv=	0,99			
szigma-egyéb=	0,99			
éte-mech-k=	0,97			
T2=	556,98	604,33	666,81	583,40
T5=	812,47	769,73	719,82	788,04
fajlagos-munka=	174,088	170,547	156,983	172,907
termikus hatásfok=	22,88	24,12	24,72	23,66

3. ábra Az Excel program kezelői felülete

Az eredményként kék színnel jelzett sorban, az adott bemenő adatok mellett a fent megtárgyalt nyomásviszonyokat ( $\pi$ )  $\pi_{w_{hmax}}$  (max-fajl-munka),  $\pi_{opt}$  (optimum),  $\pi_{\eta_{max}}$  (maximális hatásfok) kapjuk. A negyedik oszlopban tetszőleges nyomásviszonyt is megadhatunk. A kapott (és megadott) nyomásviszonyokkal a program számolja sorrendben a kompresszor utáni gázhőmérsékletet [K] (T2), a kilépő keresztmetszet gázhőmérsékletét [K] (T5), fajlagos-munkát [J/kg] és termikus hatásfokot [%].

T3 [K]	max. fajl. munk.	optimum	max. hatásfok
1100	5,86	7,25	9,34
1200	6,95	8,91	12,07
1300	8,17	10,83	15,43
1400	9,50	13,04	19,55
1500	10,98	15,57	24,58
1600	12,60	18,47	30,66
1700	14,37	21,75	37,96
1800	16,30	25,46	46,68

3. táblázat Turbina előtti gázhőmérsékletek (T3) és a hozzájuk tartozó kitüntetett nyomásviszonyok

Az első oszlopban a fajlagos hasznos munka maximumához tartozó nyomásviszony meghatározása történik, amelynek értéke jelen példában: 6,95. A hozzátartozó fajlagos munka és termikus hatásfok 174,088 kJ/kg, illetve 22,88%. A kompresszorból való kilépés hőmérséklete 556,98 K, illetve a gázelvező rendszerből való kilépés hőmérséklete 812,47 K. A második oszlop nyomásviszonya (8,91) megfelel a leírt kompromisszumos optimumnak, ahol a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok szorzatának maximumát kerestük. A harmadik oszlopban a maximális termikus hatásfokhoz tartozó nyomásviszonyt (12,07) határoztam meg. A negyedik oszlopban jelen esetben 8-as nyomásviszonyt adtam meg (ez tetszőleges 4 és 27-es nyomásviszonyok között). További adatok kiolvasása minden oszlop esetében az első oszlop értelmezésének megfelelően történik.

Ezeket a nyomásviszonyokat az előbbieken rögzített hatásfok és veszteség értékek mellett, 100 K-enkénti bontásban a 3. táblázatban foglaltam össze.

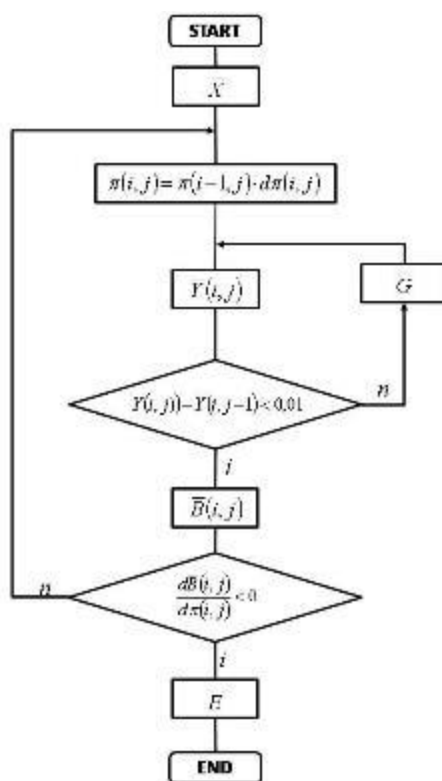
### A program felépítésének folyamatábrája

A program működésének lényegét a 4. ábra szemlélteti. Abban az esetben, ha a program adott részében több jellemző megjelenik, azokat vektorként, mintegy a vektor elemeiként jelöltem. Ennek megfelelően a program a következő részekre bontható:

$\bar{X}$  vektor tartalmazza a program input adatait, úgymint:

- a Nemzetközi Egyezményes Légkör adatait  $H = 0$  m és  $V = 0$  m/s esetére;
- a beviteli mezőben megadható adatokat (turbina előtti gázhőmérséklet, gépegység veszteség és hatásfok adatok);
- gázjellemzők kezdeti értékei (állandó nyomáson vett fajhő, adiabatikus kitevő, specifikus gázállandó), valamint a tüzelőanyag fűtőértéke.

A programban feltételeztem, hogy a kompresszor nyomásviszonyát elemi nyomásviszonyú fokozatokkal növelem. Ennek megfelelően a program számolja a fajlagos hasznos munka és a bevitt hő meghatározásához szükséges termikus paramétereket ( $\bar{Y}$  vektor).



4. ábra A program folyamatábrája

Ehhez a  $\bar{G}$  vektorból kapja meg az aktuális gázjellemző értékeket és csak akkor léphet ki a ciklusból, ha minden szükséges paraméter változása az előző körhöz képest kisebb, mint 0,01, biztosítva ezzel, hogy a számítás során korrekt gázjellemzővel történt az adott paraméter meghatározása. A  $\bar{B}$  vektor elemei maga a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok, valamint egy mesterséges mutató, amit a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok szorzataként definiáltam. A következő lépésben képezem a fenti jellemzők derivált függvényének értékét. Ez könnyen

megtehető, mert az előző körhöz képest csak elemi a változás a fenti jellemzők tekintetében, ami szintén elemi nyomásviszony növekedés hatására jött létre. Így képezve a differenciál hányadosokat, valamint vizsgálva az előjelváltást megkaphatjuk a fajlagos hasznos munka  $w_h(\pi)$ , a termikus hatásfok  $\eta_t(\pi)$ , valamint közös optimumuk maximumához tartozó nyomásviszony értékeket. Ezután az eredmények kiírása marad, amelyeket az  $\bar{E}$  vektor tartalmaz.

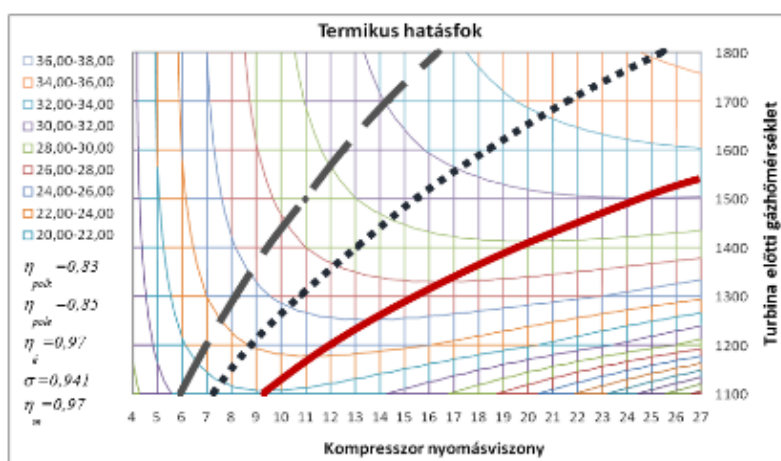
## FAJLAGOS HASZNOS MUNKA ÉS A TERMIKUS HATÁSFOK KARAKTERISZTIKÁK ÁBRÁZOLÁSA

Ebben a fejezetben nem csak az optimumokat, hanem a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok turbina előtti gázhőmérséklet ( $T_3$ ), illetve kompresszor nyomásviszony ( $\pi$ ) függvényében történő vizsgálatát is elvégeztem, amihez továbbra is Microsoft Excel és a Visual Basic programot használtam. Ennek segítségével ábrázolni tudtam a hajtómű termikus hatásfok, illetve a fajlagos hasznos munka karakterisztikáit.

### A karakterisztikák felépítésnek módszere

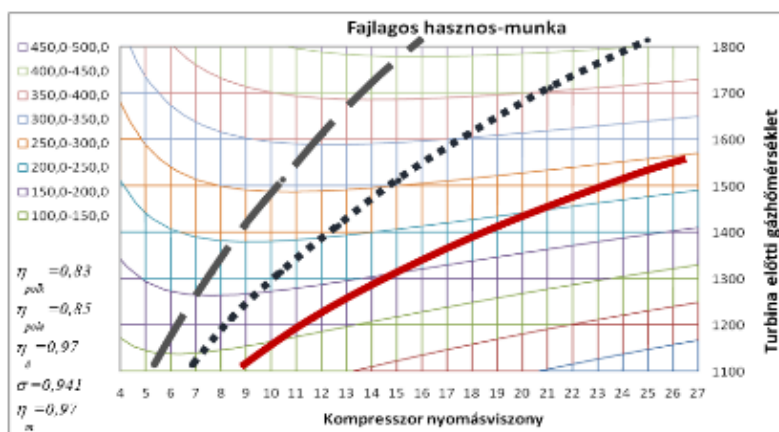
A program futtatásakor automatikusan lépteti a kompresszor nyomásviszony értékét 4 és 27 között 1-es lépésközzel, a turbina előtti gázhőmérsékletet 1100 K és 1800 K között 100 K-es lépésközzel. Ez a nyomásviszony és hőmérséklet tartomány bőven lefedi az általam vizsgálat tárgyává tett hajtóműveket. A gépegség hatásfokok és veszteségek értékeit változatlanul hagytam, de ezeket természetesen szabadon változtathatjuk a fizikailag elfogadható határok között. A létrehozott termikus matematikai modell ezeket az adatokat felhasználva felrajzolja a karakterisztikákat, megjelenítve, hogy adott gépegség veszteségek mellett a fent leírt tartományban milyen fajlagos hasznos munka, illetve termikus hatásfok értékek érhetőek el. Természetesen a program ezeket a karakterisztikákat bármilyen gépegség veszteség kombináció esetére képes létrehozni.

### Gázturbinás hajtóművek termikus hatásfok és fajlagos hasznos munka görbéi



5. ábra Termikus hatásfok görbék a  $T_3$ - $\pi$  diagramban

Az 5. ábrán látható  $T_3$ - $\pi$  diagramban ábrázolt termikus hatásfok karakterisztikában jól szemléltethető, hogy adott nyomásviszony és turbina előtti maximális gázhőmérséklet a fenti gépegség veszteségek mellett milyen termikus hatásfokot (%) eredményez.



6. ábra Fajlagos hasznos munka görbék a T<sub>3</sub>-π diagramban

A 6. ábrán a T<sub>3</sub>-π diagramban a fajlagos hasznos munkát ábrázoltam az előzőhöz hasonló szemlélettel. A fajlagos hasznos munkák értékei kJ/kg mértékegység szerint kerültek megadásra. A két ábrán jól összehasonlítható a két görbesereg alakulása.

Mindkét diagramon látható a korábban meghatározott kiemelt kompresszor nyomásviszony értékek is. A zöld (szaggatott) görbe a maximális fajlagos hasznos munkához, a piros (folytonos) görbe a maximális termikus hatásfokhoz, a köztes kék (pontvonal) görbe pedig a kompromiszsum keresés jegyében meghatározott kompresszor nyomásviszonyokat tartalmazza.

Belátható, hogy adott turbina előtti gázhőmérséklet esetében a maximális fajlagos hasznos munkához, illetve a maximális termikus hatásfokhoz tartozó nyomásviszony ott adódik, ahol az adott görbének minimuma van, vagyis az adott hőmérsékleti egyenes éppen érinti a görbét, kijelölve ezzel a hozzá tartozó optimális nyomásviszonyt is.

### Gondolatok a munkapont lehetséges illesztéséről

Feltételezve hogy a tervezők már adott hajtómű elemekkel számolhatnak (kompresszor, égőtér, turbina), ezzel tulajdonképpen már rögzítve a megengedhető turbina előtti gázhőmérsékletet és a gépegység veszteségeket, egyetlen lehetőség marad, nevezetesen a kompresszor nyomásviszony. Ennek megválasztása komoly fejtöréssel járhat. Látszólag, gondolva az ideális termikus hatásfok képletére a termodinamika II. főtétele alapján, jelentős előnnyel járhat a kompresszor nyomásviszony növelése a termikus hatásfok növelése szempontjából. Még abban az esetben, ha a nyomásviszony növelés nem jár együtt a politrópikus hatásfok csökkenésével (sajnos legtöbbször együtt jár, az esetleges plusz fokozat(ok) kisebb lapátmagassága miatt) az 5–6. ábrákat tanulmányozva láthatjuk, hogy ez koránt sem általánosan elfogadható. Vizsgálva a fenti ábrákat, a T<sub>3</sub>-π diagramok négy tartományra oszthatóak fel.

Az első tartomány  $\pi = 4$ -es nyomásviszonytól tart az első zöld (szaggatott) vonalig (maximális fajlagos hasznos munkához tartozó nyomásviszonyok összessége). 4-es nyomásviszonynál alacsonyabb nyomásviszonyt nem indokolt vizsgálni a felszálló üzemmód miatt.

A fenti levezetésekéből következik, hogy a fajlagos hasznos munka maximumaihoz tartozó nyomásviszonyoktól balra zöld (szaggatott) görbe adott maximális turbina előtti gázhőmérsékletet feltételezve mind a fajlagos hasznos munka, mind pedig a termikus hatásfok drasztikusan csökkenő értéket mutat. A fentiekkel összhangban kijelenthető, hogy



mindenképpen indokolt elérni a munkapont kiválasztásánál a maximális fajlagos hasznos munkához tartozó nyomásviszonyok vonalát, mert addig mind a fajlagos hasznos munka, mind pedig a termikus hatásfok növekszik. Ez utóbbi különösen, hiszen az 5. ábrát tanulmányozva látható, hogy ebben a tartományban a termikus hatásfok görbék már szinte függőlegesen futnak, így a nyomásviszony változás nagyon intenzív termikus hatásfok változással párosul. Gyakorlatilag a fenti feltételek mellett a 20%-os termikus hatásfok görbének (5. ábra szerint) 4-es nyomásviszony körül már aszimptotája lesz.

A első zöld (szaggatott) és a második (az általam önkényesen definiált a két jellemző szorzatának maximumához tartozó optimum nyomásviszonyok görbéje) kék (pont) vonalak közötti tartományban a nyomásviszony növelése indokolt, ha nem jár nagy kompresszor hatásfok csökkenéssel, mert a fajlagos hasznos munka csökkenése még nem intenzív, de a termikus hatásfok jelentősen emelkedhet.

A második kék (pont) és a harmadik piros (folytonos) (a maximális termikus hatásfokhoz tartozó nyomásviszonyok görbéje) vonalak között már egységnyi nyomásviszony növekedésre egyre kisebb termikus hatásfok növekedést kapunk, míg a fajlagos hasznos munka tovább csökken. Ronthatja a helyzetet a kompresszor hatásfok esetleges csökkenése. Ha ez nem következik be és nem veszik el a remélt előny a termikus hatásfok növekedése szempontjából, akkor a fajlagos hasznos munka csökkenéséből adódó teljesítmény csökkenés kompenzálható nagyobb tömegáramú hajtóművel. Mint mindennek, ennek is ára van, nevezetesen a hajtómű tömeg és geometriai méreteinek növekedése. Ennek megfelelően adott turbina előtti gázhőmérsékletet feltételezve a nyomásviszony további növelése már alapos mérlegelést igényel a tervezőktől. A harmadik piros (folytonos) vonaltól jobbra eső terület teljesen érdektelen, mert itt már mind a fajlagos hasznos munka, mind a termikus hatásfok csökkenő értéket mutat.

	TV2-117A	TV3-117 VM	T58-GE-100	T-53-L13	T64-GE-100	MTR 390E	T800-LHT-801	RTM 322-01/9	LM2500
$P$ [kW]	1103	1699	1118	1043	3228	1043	1166	1799	24000
$T_3$ [K]	1168	1250	1269	1250	1429	1627	1444	1507	1504
$\dot{m}$ [kg/s]	6,8	8,75	6,35	5,53	13,3	3,6	4,53	5,79	70,3
$\pi_{wh} - \pi_{rp}$	6,24-9,97	7,18-12,2	6,52-10,22	6,81-11,16	8,62-15,51	9,45-16,73	8,92-16,41	10,36-20,81	12,38-29,64
$\pi$ [-]	6,6	9,45	8,4	7,2	14	14	15	14,7	18
$Poz.$ [%]	9,58	45,28	50,73	8,95	78,04	62,48	81,19	41,56	32,58
$\eta_{pole}$ [-]	0,848	0,846	0,824	0,843	0,834	0,815	0,849	0,857	0,872
$\eta_{polk}$ [-]	0,824	0,824	0,798	0,815	0,805	0,774	0,808	0,822	0,858
$\eta_t$ [%]	22,58	25,66	22,59	23,59	28,17	27,83	29,85	32,26	36
$C_{faj}$ [kg/kWh]	0,369	0,325	0,369	0,353	0,296	0,299	0,279	0,258	0,229
$w_h$ [kJ/kg]	162,3	190,8	176	188,5	242,2	303,47	257,3	310,8	341,451

4. táblázat Összefoglaló a hajtómű elemzések eredményeiről

A 4. táblázatban összegyűjtöttem néhány régebbi és újabb turboshaft<sup>3</sup> hajtómű elemzése során kapott legfontosabb adatokat, lehetővé téve összehasonlításukat. Láthatóan a tervezők nem követtek egységes koncepciót a munkapontok megválasztásánál, ami széles spektrumban mozog, de minden esetben beleesik a modell által meghatározott kompresszor nyomásviszony tartományba.

<sup>3</sup> Turboshaft: tengelyteljesítményt szolgáltatató gázturbinás hajtóművek.



## ÉRZÉKENYSÉG VIZSGÁLAT A GÉPEGYSÉG HATÁSFOKOK ÉS VESZTESÉGEK SZEMPONTJÁBÓL

A gépegység hatásfokoknak és veszteségeknek természetesen jelentős, de nem azonos mértékű hatásuk van a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok, illetve a megelőző fejezetekben tárgyalt, hozzájuk tartozó optimális kompresszor nyomásviszony értékekre.

### Paraméterérzékenység vizsgálatának módszere

Ebben a fejezetben megvizsgálom, hogy az egyes veszteségek milyen hatással lesznek a hajtómű termikus hatásfokára, illetve a fajlagos hasznos munkájára, valamint a hozzájuk tartozó nyomásviszonyokra. Ezt három turbina előtti gázhőmérsékletre (1100 K, 1450 K, 1800 K) végzem el. A megelőző levezetésből következtetésként levonhatjuk, hogy két kiemelt nyomásviszonyt különböztethetünk meg. Nevezetesen ahol  $w'_h(\pi)=0$  (maximális fajlagos-hasznos munka), illetve ahol  $\eta'_t(\pi)=0$  (maximális a termikus hatásfok) adott turbina előtti hőmérséklet és gépegység hatásfokok és veszteségek mellett, illetve harmadikként az általam képzett kompromisszumos optimum a fenti két nyomásviszony között.

A munkapontot minden esetben az adott turbina előtti gázhőmérséklethez a két mutató közös optimumát meghatározó nyomásviszonyra veszem fel. Természetesen a hajtóművet hangolhatják a két optimum között más munkapontra is attól függően, hogy a fajlagos hasznos munka, vagy a hatásfok növelését preferálják a tervezők. Ilyen szempontból a munkapont felvétele önkényes, de valószínűleg nincs távol a valóságtól. Ennek részletesebb vizsgálatával még később foglalkozom. A kiinduló hatásfok és veszteség adatok továbbra is a 2. táblázatban megjelölt értékek lesznek. Az első lépésben az egyes hatásfokokat és veszteségeket 1%-al rontom a bázisértékhez képest és a változásokat százalékosan adom meg a kiinduló értékekhez képest a következő összefüggéssel (18):

$$\Delta w_h(\%) = - \left( 1 - \frac{w_{h/akt}}{w_{h/bázis}} \right) \cdot 100 \quad \Delta \eta_t(\%) = - \left( 1 - \frac{\eta_{t/akt}}{\eta_{t/bázis}} \right) \cdot 100 \quad (18)$$

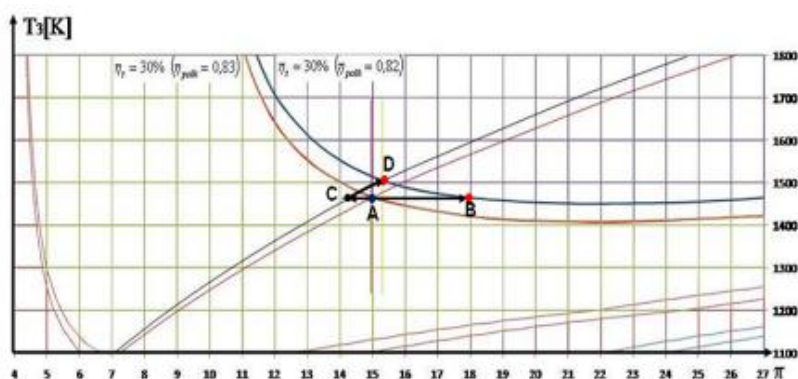
A termikus hatásfok vizsgálatánál a hatásfok relatív változásán kívül az abszolút változást is ábrázoltam, vagyis, hogy nominálisan mennyivel romlik a hatásfok az adott gépegység hatásfokának 1%-os csökkenése mellett.

A modell többféle lehetőséget is kínál a gépegység veszteségek hatásának vizsgálatára. Ennek értelmezéséhez kíván segítséget nyújtani a 7. ábra, ahol a kompresszor politrópikus hatásfok csökkenésén keresztül lehet görcső alá venni a különböző lehetőségeket. Az „A” pont a kiinduló helyzet 0,83-as politrópikus hatásfokkal és kb. 30%-os termikus hatásfokkal (az „A” ponton átmenő piros görbe).

A politrópikus hatásfokot 0,82-re csökkentve a 30%-os termikus hatásfok-görbe felfelé csúszik (a **D** – **B** pontokra fekvő görbe). Az optimális nyomásviszonyok görbéje balra csúszik (az **A** ponton keresztülmenő görbe helyett a **C** – **D** pontokra fekvő görbe lesz).

A vizsgálat során mind a négy lehetőséget számba veszem a többi gépegység veszteség szempontjából is. Nevezetesen:

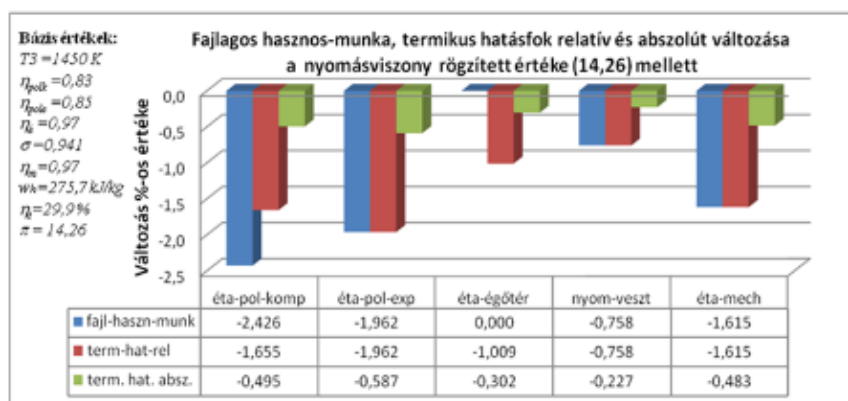
- változatlan turbina előtti gázhőmérséklet és nyomásviszony (A pont);
- változatlan turbina előtti gázhőmérséklet mellett, a nyomásviszony növelésével a 30%-os termikus hatásfok fenntartása (B pont);
- változatlan turbina előtti gázhőmérséklet, míg a nyomásviszony az új gépegység hatásfoknak megfelelően kerül optimalizálásra (C pont);
- az új optimális nyomásviszony mellett, a 30%-os termikus hatásfok fenntartása (D pont).



7. ábra A kompresszor politrópikus hatásfokának csökkenése esetén a termikus hatásfok fenntartásának lehetőségei

### Változatlan turbina előtti gázhőmérséklet és kompresszor nyomásviszony (A)

Természetesen tetszőleges turbina előtti gázhőmérsékletekre meghatározható a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok változása a gépegység hatásfokok és veszteségek 1%-os csökkenése esetére.



8. ábra A gépegység veszteségek hatása a fajlagos hasznos munkára és a termikus hatásfokra változatlan turbina előtti gázhőmérséklet és nyomásviszony mellett

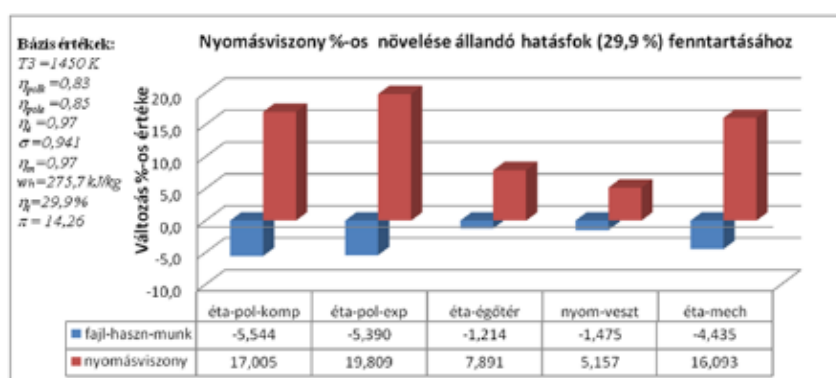
Jelen esetben csak az 1450 K-hez (14,26-os nyomásviszony) tartozó értékeket ábrázoltam. A 8. ábra alapján megállapíthatjuk, hogy a fajlagos hasznos munkára legnagyobb hatással a kompresszor politrópikus hatásfoka (éta-pol-komp) van. A termikus hatásfokot viszont az expanzió politrópikus hatásfokának (éta-pol-exp) csökkenése érinti a legnagyobb mértékben, de a kompresszor politrópikus hatásfok csökkenése is közelítően hasonló termikus hatásfok csökkenéssel jár. Megállapítható, hogy ennek a két hatásfoknak a csökkenése (romlása) lesz döntő, mind a fajlagos hasznos munka, mind pedig a termikus hatásfok csökkenésére. A turbina előtti hőmérséklet növekedésével a kompresszor politrópikus hatásfokának ugyanolyan mértékű csökkenése esetében a negatív hatás

némileg csökken mind a fajlagos hasznos munka, mind a termikus hatásfok tekintetében. Ugyanez az expanzió politrópikus hatásfokának csökkenése esetén is igaz, habár ebben az esetben az abszolút hatásfok csökkenése nagyobb lesz a turbina előtti hőmérséklet növekedésével. Az égési hatásfok (éta-égőtér) romlása nincs hatással a fajlagos hasznos munkára. Ez logikusan igazolható, mivel a fajlagos hasznos munka csak a folyamatban megjelenő hőtől függ, függetlenül attól, hogy ez a hő milyen hatásfokkal jutott be a folyamatba. Ugyanakkor az égési hatásfok csökkenésekor a termikus hatásfok jelentősen csökken (ugyanannyi hőmennyiséghez több tüzelőanyag elégetése szükséges). A turbina előtti gázhőmérséklet növekedésével ez a hatás még egy kicsit erősödik is. A gépegység nyomásvesztéségek (nyom-veszt) növekedésének hatására mind a fajlagos hasznos munka, mind a termikus hatásfok viszonylag mérsékelten csökken, de a turbina előtti hőmérséklet növekedésével a romlás csökkenő jelleget mutat. Jelentős hatással lesz még a gázgenerátor egység mechanikai hatásfoka, amelybe itt bevontam a segédberendezések teljesítményfelvételét is. A negatív hatás ebben az esetben is csökken a turbina előtti gázhőmérséklet növekedésével.

Konklúzióként levonható, hogy a hajtómű legérzékenyebben a kompresszor politrópikus hatásfokára reagál, ezt követi az expanzió politrópikus hatásfoka, a mechanikai veszteségek, az összehozott nyomásvesztések és végül az égőtér hatásfok.

### A kompresszor nyomásviszony növelése (B)

Jól ismert, hogy az ideális termikus hatásfok a kompresszor nyomásviszony függvénye. Ennek megfelelően a kompresszor nyomásviszony növelése feltételezhetően jótékony hatással lesz a (valós) termikus hatásfokra is. A 9. ábra azt szemlélteti, hogy az adott gépegység hatásfokának 1%-os csökkenése milyen kompresszor nyomásviszony növeléssel kompenzálható, ha fenn akarjuk tartani az eredeti termikus hatásfokot. Láthatóan a kompresszor nyomásviszony növelése nem feltétlenül hozza meg a kívánt hatást. Mind a kompresszió, mind az expanzió politrópikus hatásfokának 1%-os csökkenését közel 20%-os kompresszor nyomásviszony növeléssel lehetne kompenzálni. Ez tulajdonképpen egy gyengébb kompresszor fokozat nyomásviszonyának felel meg. Ezt feltételezve meg is fordíthatjuk a feltételezést, miszerint, különösen egy kisméretű axiális kompresszor esetében érdemes-e egy plusz fokozattal próbálkozni a teljesítmény-mutatók javítása érdekében.

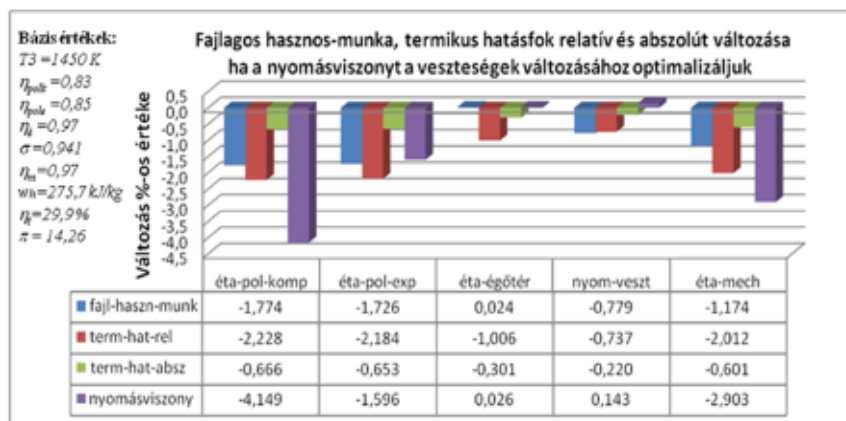


9. ábra A kiinduló (29,9%-os) termikus hatásfok fenntartásához szükséges nyomásviszony növelés

Jól látható, ha ez a plusz fokozat a politrópikus kompresszor hatásfok 1%-os csökkenésével jár, a feltételezés szerint a termikus hatásfokban nem nyertünk, ellenben több mint 5%-os fajlagos hasznos munkát veszünk.

### A kompresszor nyomásviszony csökkentése az új gépegység hatásfok szerint (C)

A következő lépésben azt vizsgáltam, hogy a hatásfokok és veszteségek fenti mértékű változása esetében az optimális nyomásviszony hogyan változik és ez milyen hatással lesz a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok változásaira.

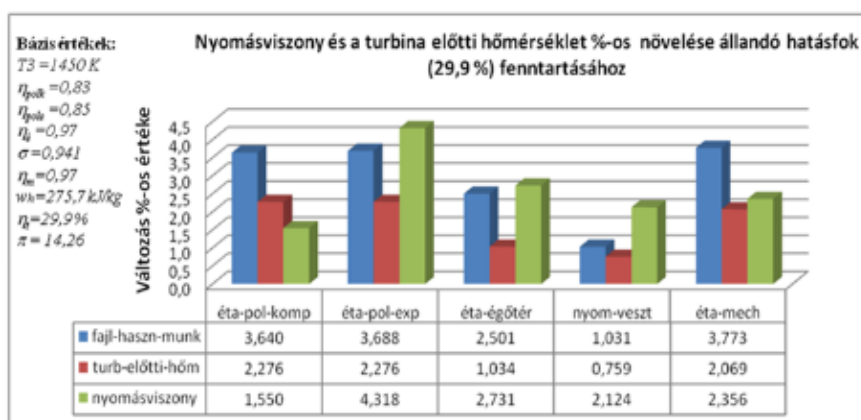


10. ábra A gépegység veszteségek hatása a fajlagos hasznos munkára, a termikus hatásfokra a nyomás-viszony optimális értéke mellett

Ennek az eredményét a 10. ábra szemlélteti. A nyomásviszony kiinduló értéke 14,26. Ehhez képest láthatjuk a nyomásviszony százalékos változásának mértékét az új optimális nyomásviszony létrehozásához. Mivelhogy ez minden esetben az új helyzetnek megfelelő optimumot jelenti, így a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok romlása kiegyensúlyozottabb lesz. Ezt az égőtér hatásfok és a nyomásveszteségek csökkenését kivéve a kompresszor nyomásviszony csökkentésével tudjuk elérni. Legjelentősebb mértékben a kompresszor politrópikus hatásfok csökkenésekor indokolt a kompresszor nyomásviszony csökkentése. Itt a kompresszor politrópikus hatásfokának 1%-os csökkenése átlagosan kb. 4%-os nyomásviszony csökkentést indokolna.

### A termikus hatásfok csökkenésének kompenzálása az optimum görbe mentén (D)

Erre csak akkor van lehetőség, ha a turbina előtti gázhőmérséklet még növelhető (turbina lapátok anyaga, hővédő bevonat, hűtés hatékonyságának növelése).



11. ábra A kiinduló termikus hatásfok fenntartása a turbina előtti hőmérséklet növelésével az optimális nyomásviszony mentén

Ebben a megoldásban több lehetőség van. A 11. ábrán látható módon már viszonylag kis kompresszor nyomásviszony és turbina előtti gázhőmérséklet növelés hatására a gépegység veszteségek 1%-os csökkenése mellett is nem csak a termikus hatásfok értéke maradt változatlan, de a fajlagos hasznos munka értéke is nőtt minden esetben néhány százalékkal.

## TÜZELŐANYAG-ÁRAM, TURBINA-HŰTÉS, EGYÉB LEVEGŐ ELVÉTEL MÓDOSÍTÓ HATÁSA

Az előző fejezetekben felépített modellben nem vettem figyelembe a tüzelőanyag-áram, illetve a levegőelvételek fajlagos hasznos munkára és termikus hatásfokra gyakorolt hatását. Ezek számításba vételével természetesen a modell pontosítható, valamint lehetővé válik a kompresszortól elvezetett levegőáramok és a turbina-hűtés hatásának vizsgálatára. Három tényezőt kell figyelembe vennünk a vizsgálatnál:

- a levegőelvételek (hűtőlevegő és egyéb használati levegőáramok) tömegáramot, ezen keresztül a kompresszormunkát befolyásoló hatása;
- tüzelőanyag-áram tömegáramot növelő hatása;
- a hűtőlevegő tömegáramot és a turbina fajlagos munkáját befolyásoló hatása.

### Levegő-elvétel a kompresszorból

Szinte minden gázturbinás hajtómű esetében a kompresszorból több-kevesebb levegő elvételre kerül. Ez lehet átmeneti (pl. kompresszor pompázs elkerülése miatt), vagy folyamatos (a hajtómű, vagy a repülőszerkezet egyéb rendszereinek kiszolgálására). Ugyanakkor a kompresszortól elvezetett levegő visszakerülhet a gázáramba (turbinahűtés), vagy végleg elvezetésre kerül (helikopter hajtóművek porkiválasztó rendszereihez vezetett ejektáló levegő, kondicionáló rendszer, berendezések hűtése). Ugyanakkor nagyon fontos, mind a fajlagos hasznos munka, mind a termikus hatásfok szempontjából, hogy a kompresszor mely részéből, illetve milyen mennyiségű levegő kerül elvezetésre.

A modellbe két levegőelvételt építettem be. Ezek közül az egyik helye és az elvétel mértéke megadható a programban. Ez a levegőelvétel ún. használati levegőnek minősül, vagyis nem kerül visszavezetésre a hajtómű gázáramába. Az elvétel helyének megadhatósága lehetővé teszi, hogy ha az adott hajtóműnél több használati levegőelvétel van a hajtómű különböző helyeiről, hatásuk a hajtómű fajlagos paramétereire egyenként vizsgálhatóvá válik.

A másik levegő elvétel a turbina hűtésére fordítódik. Ennek mértéke megadható, de helyét rögzítettem a kompresszor kilépő keresztmetszetére. Ez azzal indokolható, hogy a turbinahűtésnél a turbina első fokozatok hűtése döntő többségében a kompresszor kilépő keresztmetszetéből elvont levegővel történik. Ennek egyrészt az az oka, hogy a turbinában itt a legmagasabb a hőmérséklet és a kompresszió viszonylag magas vég hőmérsékletű levegője is megfelelő hűtést biztosít. Másrészt megfelelő nyomás szükséges a hűtő levegőnek a hűtési helyekre juttatásához, amit csak a kompresszor utolsó fokozata(i) képesek biztosítani. A középső és hátsó turbina fokozatok esetében a hűtőlevegő elvétele már általában valahonnan a kompresszor középső fokozataitól történik, mivel itt a turbinában már mind a hőmérséklet, mind a nyomás az expanzió miatt jelentősen kisebb lesz.

A vizsgált hajtómű kategória azonban olyan szempontból egyedi, hogy nem igényel nagyon intenzív hűtést, mivel a gázhőmérséklet nem túlságosan magas (általában kisebb, mint 1500 K). Felvethető a kérdés, hogyha hűtéssel tovább növelhető lenne a turbina előtti gázhőmérséklet a mai technológiai körülmények között, miért nem teszik ezt a tervezők. Ennek az oka, hogy a „határolás” már a kompresszor nyomásviszonyban be van építve. A helikopter hajtóművek általános bemutatásánál leírtam, hogy ezeknek a hajtóműveknek a levegő-fogyasztása 2-15 kg/s között van, ami kis kompresszor méreteket eredményez. Már az előző fejezetben is kiderült, hogy minden turbina előtti gázhőmérsékletre adott gépegység hatásfokok mellett tartozik egy optimális nyomásviszony. Ilyen kisméretű kompresszorok esetében azonban a nyomásviszonyt növelni a politrópus hatásfok csökkenése nélkül nagyon nehéz. Sajnos ennek csökkenése el is viszi a remélt előnyt. Így napjainkban egy élvonalbeli, korszerű helikopter hajtómű esetében a maximális nyomásviszony 14-16 körül várható, ami definiálja az 1400–1500 K-es turbina előtti gázhőmérsékletet is. Ennek igazolását a következő fejezetben részletezem. A szakirodalomban sem talákoztam 1500 K-nél magasabb turbina előtti gázhőmérséklettel helikopter hajtóművek esetén [4][5][6][7][8]. Az újabb hajtóműveknél a szabad turbina fokozato(ka)t már nem is hűtik. Ennek az egyik oka, hogy a hűtéssel természetesen magasabb turbina előtti gázhőmérséklet tartható fent, mint hűtés nélkül, de maga a turbina hűtés csökkenti a fajlagos hasznos munkát és a termikus hatásfokot is. Másik ok, hogy a mai korszerű ötvözeteknek, egykristály lapátoknak és bevonó anyagoknak köszönhetően jelentősen megnőtt a turbina lapátok hőállósága hűtés nélkül is.

A kompresszor és segédberendezései által felvett tengelyteljesítmény, figyelembe véve a levegőelvételeket és a mechanikai veszteségeket a következő összefüggéssel fejezhető ki:

$$P_k(\pi) = \dot{m} \left[ 1 - \sum_{i=1}^n \frac{\dot{m}_{\%elv,i}}{100} \left( 1 - \frac{l_{\%,i}}{100} \right) \right] \cdot \frac{c_{pl} T_1}{\eta_m} \left( \pi^{\frac{\kappa_1-1}{\kappa_1} \frac{1}{\eta_{polk}}} - 1 \right) \quad (19)$$

A fajlagosítás (tömegárammal való osztás) után a fajlagos kompresszormunkát kapjuk. Továbbá aktualizálva a fenti (19) egyenletet, csak egyetlen levegőelvételeket kell figyelembe venni, mivel a hűtésre elvett levegő komprimálását teljesen el kell végezni, vagyis ezzel nem csökken a kompresszormunka. A használati levegő elvétele ( $\dot{m}_{\%elv,1}$ ) csökkenti a kompresszormunkát, mégpedig annak függvényében, honnan történik a levegőelvétel. Az elvétel helye ( $l_{\%}$ ) ebben az értelmezésben nem kifejezetten fizikai helyet jelent, hanem addig a pontig az elvont levegőmennyiségre vonatkozó kompresszor munka %-os mértékét ugyanennek a levegőmennyiségnek a teljes kompressziós munkájához képest. Ezt csak megbecsülni tudjuk, mert az üzemeltetőknek a hajtómű leírások alapján legtöbbször az áll rendelkezésünkre, hogy melyik fokozattól történik az elvonás. Ebből és a kompresszor teljes nyomásviszonyából azért jó becslést végezhetünk bonyolultabb számítások nélkül is. Ha axiális kompresszorokról van szó és még a fokozatok középátmérője is állandó, akkor leszögezhetjük, hogy a kompresszor fokozatmunka (20) állandónak tekinthető az egymást követő fokozatokban.

$$w_k(\pi) = \left[ 1 - \frac{\dot{m}_{\%elv,1}}{100} \left( 1 - \frac{l_{\%}}{100} \right) \right] \cdot \frac{c_{pl} T_1}{\eta_m} \left( \pi^{\frac{\kappa_1-1}{\kappa_1} \frac{1}{\eta_{polk}}} - 1 \right) \quad (20)$$

## Tüzelőanyag-áram az égőtérben

A hajtóműbe bevitt hő kifejezhető a tüzelőanyag-fogyasztás és a tüzelőanyag fűtőértéke segítségével, valamint termikusan a  $T_2$ – $T_3$  hőmérsékletek közötti izobár állapotváltozással.

$$Q_b(\pi) = \dot{m}_{tüze} \cdot F\ddot{u} = \dot{m} \left( 1 - \sum_{i=1}^n \frac{\dot{m}_{\%elv,i}}{100} \right) \frac{c_{pé}}{\eta_é} \left( T_3 - T_1 \cdot \pi^{\frac{\kappa_1-1}{\kappa_1} \frac{1}{\eta_{polk}}} \right) \quad (21)$$

A fenti (21) egyenletből egyrészt kifejezhetjük a fajlagos hő-bevitelt (22), másrészt a tüzelőanyag-áram és a levegő-áram viszonzszámát (23), amelyek közül az utóbbit már eddig is használtam a gázjellemzők meghatározásánál az égéstermék összetételének jellemzésére. Ez egyben a hajtómű egységnyi levegőfogyasztására eső tüzelőanyag-áram, vagy fajlagos tüzelőanyag-áram (nem tévesztendő össze a fajlagos fogyasztással).

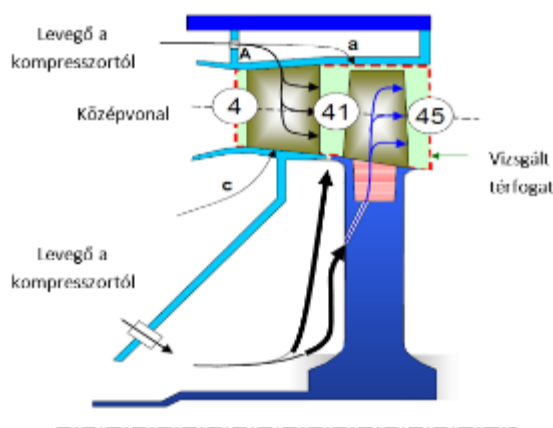
$$q_b(\pi) = \left( 1 - \frac{\dot{m}_{\%elv,1}}{100} - \frac{\dot{m}_{\%elv,2}}{100} \right) \frac{c_{pé}}{\eta_é} \left( T_3 - T_1 \cdot \pi^{\frac{\kappa_1-1}{\kappa_1} \frac{1}{\eta_{polk}}} \right) \quad (22)$$

$$q_t(\pi) = \frac{c_{pé}}{F\ddot{u} \cdot \eta_é} \left( T_3 - T_1 \cdot \pi^{\frac{\kappa_1-1}{\kappa_1} \frac{1}{\eta_{polk}}} \right) \quad (23)$$

## Hűtőlevegő hatása az expanziós folyamatra

A hűtőlevegő turbina fajlagos hasznos munkára gyakorolt hatását két módszerrel vehetjük figyelembe.

Az egyik módszer szerint megpróbáljuk megvizsgálni az egyes hűtőlevegő áramok hűtő hatását a turbina gázáramra a 12. és a 13. ábrának megfelelően. Az állórészben bevezetett hűtőlevegő, míg növeli a tömegáramot, egy izobár hőcserét feltételezve, csökkenti a turbina előtti gázhőmérsékletet.

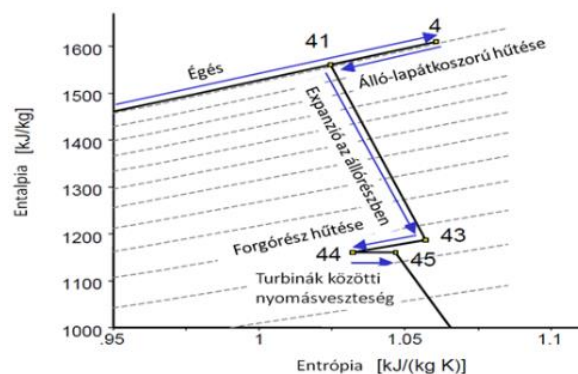


12. ábra Hűtőlevegő áramok a turbina fokozatban [3]

Ugyanez történik a forgórészben, ahol tovább növekszik a tömegáram, illetve csökken a hőcsere hatására a gázhőmérséklet. Mindezzel együtt természetesen a hűtésből eredő hőmérséklet csökkenéssel is a turbina előtti gázhőmérséklet jóval magasabb marad, mint amit hűtés nélkül

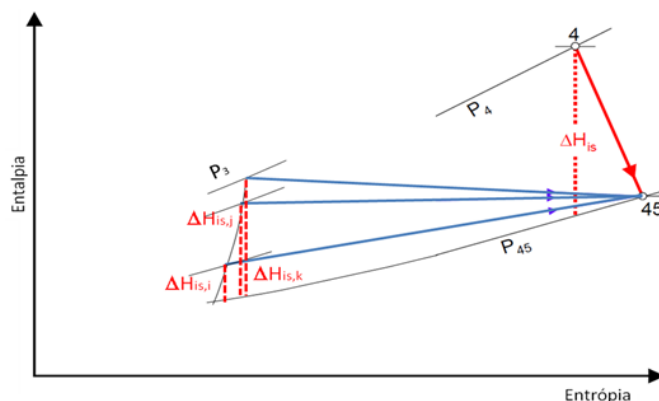


elviselne az adott turbina fokozat. Nehézséget okoz, hogy viszonylag bonyolult meghatározni a keveredés utáni hőmérsékletet, illetve az egyes hűtőlevegő-áramok mértékét.



13. ábra Turbina hűtőlevegő hatása a turbinában lejátszódó expanzióra <sup>45</sup>

Másik módszer jelentősen egyszerűbb. Ebben az esetben nem foglalkozunk a turbinával magával részleteiben, csak azt vesszük figyelembe, hogy a turbina egy olyan gép, ami a termikus energiát mechanikai munkává konvertálja. Így az egyes, a turbinába áramló gázáramok között nem teszünk különbséget, legyen az az égőtértől érkező forró gáz, vagy a kompresszor megcsapolásából származó individuális hűtőlevegő-áramok.



14. ábra A hűtőlevegő áram expanziós munkája

Ezek a hűtőlevegő-áramok különböző kompresszor fokozatoktól származhatnak, ennek megfelelően nyomásuk és hőmérsékletük különböző. Munkavégző képességüket az elvétel helyén uralkodó nyomás és a 14. ábra szerinti  $p_{45}$  (utolsó turbina fokozat utáni nyomás) nyomások közötti izentrópikus expanzió mértéke határozza meg az adott hőmérséklet határok között. Tehát a teljes járulékos turbina munka az egyes áramok által létrehozott turbina munkák összessége lesz.

Természetesen ebben az esetben is figyelembe kell venni, hogy a kompresszortól elvezetett levegő amikorra eléri a turbinát és keresztüláramolva a lapátokon a gázáramba jut, jelentős nyomásvesztést szenved el.

<sup>4</sup> Entrópia: megváltozása a rendszer két állapota között reverzibilis folyamat során felvett redukált hőmennyiségek előjelhelyes összegével egyenlő [J/kgK].

<sup>5</sup> Entalpia: a termodinamikai folyamat során a belső energia és az áttolási munka előjelhelyes összege [J/kg].



Ennek megfelelően (egyenlőre több hűtőlevegő-áramot figyelembe véve) az expanzióból származó tengelyteljesítményt (kompresszor és szabad turbina összegzett tengelyteljesítményét) a következő összefüggéssel (24) fejezhetjük ki:

$$P_e(\pi) = \dot{m} \left( 1 - \sum_{i=1}^n \frac{\dot{m}_{\%elv,i}}{100} \right) (1 + q_t) c_{pg} T_3 \left( 1 - \frac{1}{(\sigma\pi)^{\frac{\kappa_g-1}{\kappa_g} \eta_{pole}}} \right) + \dot{m} \sum_{i=1}^n \frac{\dot{m}_{\%elv,i}}{100} c_{pgi} T_i \left( 1 - \frac{1}{(\sigma_i \pi_i)^{\frac{\kappa_{gi}-1}{\kappa_{gi}} \eta_{pole}}} \right) \quad (24)$$

A fajlagosítás, illetve az általam két, már a kompresszor tárgyalásánál definiált levegőelvétel után az expanzió fajlagos munkáját a (25) egyenlet írja le. Mivel feltételezésem szerint a turbina hűtőlevegő elvezetése a kompresszor utolsó fokozatától történik, így a járulékos turbinamunka (a hűtőlevegő expanziójából) a kompresszor utáni ( $T_2$ ) hőmérsékletről indul. Feltételezem továbbá, hogy a nyomásvesztés ( $\sigma_{hű}$ ) a bonyolult geometria és a szűk csatornák miatt nagy lesz, ennek megfelelően értékét 0,9-re veszem fel.

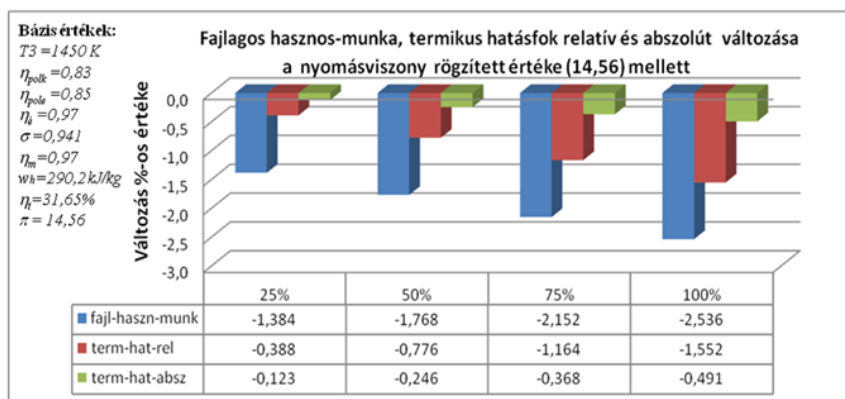
$$w_e(\pi) = \left( 1 - \frac{\dot{m}_{\%elv,1}}{100} - \frac{\dot{m}_{\%elv,2}}{100} \right) (1 + q_t) c_{pg} T_3 \left( 1 - \frac{1}{(\sigma\pi)^{\frac{\kappa_g-1}{\kappa_g} \eta_{pole}}} \right) + \frac{\dot{m}_{\%elv,2}}{100} c_i T_2 \left( 1 - \frac{1}{(\sigma_{hű}\pi)^{\frac{\kappa_i-1}{\kappa_i} \eta_{pole}}} \right) \quad (25)$$

Természetesen ez a járulékos turbinamunka minimális lesz a kis közegmennyiség és a sokkal alacsonyabb hőmérsékletről induló expanzió miatt, de semmiképpen sem hagyható figyelmen kívül a hajtómű vizsgálatánál.

Az egyenlet jelentősen bonyolódott, de a fajlagos hasznos munkát ebben az esetben is az expanziós és kompressziós munka különbségeként definiálhatjuk, nevezetesen a (25) és a (20) egyenletek különbségeként. Az új termikus hatásfok meghatározásához ezt a különbséget kell osztani a (22) egyenlettel.

### Használati levegő elvétel hatása a fajlagos hasznos munkára és a termikus hatásfokra

A 15. ábra szerint 1%-os levegőelvétellel számolunk a kompresszor 25–50–75–100%-os kompresszormunkájának megfelelő helyein. Láthatón a levegőelvételnek minden elvételi helyen a fajlagos hasznos munkára lesz domináns hatása. A turbina előtti gázhőmérséklet növekedésével a negatív hatás csökken.

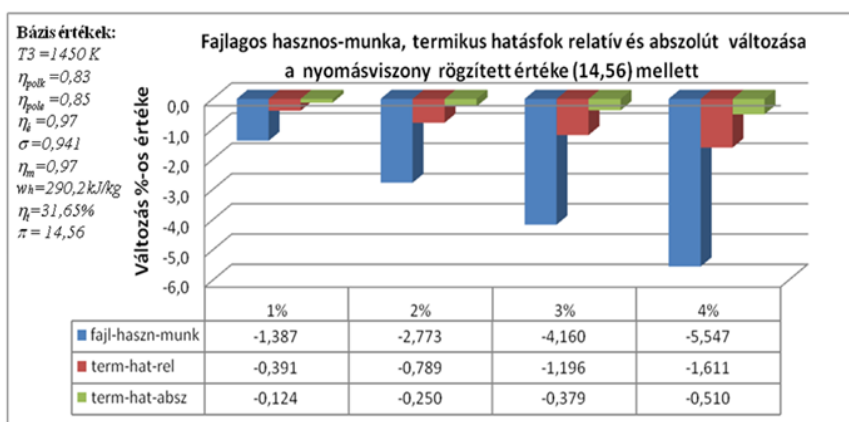


15. ábra 1%-os használati-levegő elvétel hatása a hajtómű fajlagos hasznos munkájára és termikus hatásfokára

Összehasonlítva a gépegység veszteségek által okozott fajlagos hasznos munka és termikus hatásfokváltozással, nem meglepő módon, a levegőelvétel hatása a kompresszor politrópikus hatásfok csökkenésének megfelelő hatást vált ki. A fenti 1%-os levegőelvétel a kompresszor ki-lépő keresztmetszetében (100%) kb. megfelel 1%-os kompresszor politrópikus hatásfok csökkenésnek (8. ábra).

### Hűtőlevegő hatása a fajlagos hasznos munkára és a termikus hatásfokra

A levegőelvétel az előzőekben megtárgyalt módon a kompresszor végkeresztmetszetben történik, vagyis a 16. ábra első oszlopa levegőelvétel mennyisége és helye szerint megfelel a 15. ábra utolsó oszlopának. Ebben az esetben kisebb veszteséget okoz ugyanaz a levegőelvétel mind a fajlagos hasznos munka, mind pedig a termikus hatásfok szempontjából, mert a hűtőlevegő is részt vesz a munkát adó expanziós folyamatban.



16. ábra 1–2–3–4%-os turbina hűtő-levegő elvétel hatása a fajlagos hasznos munkára és termikus hatásfokra

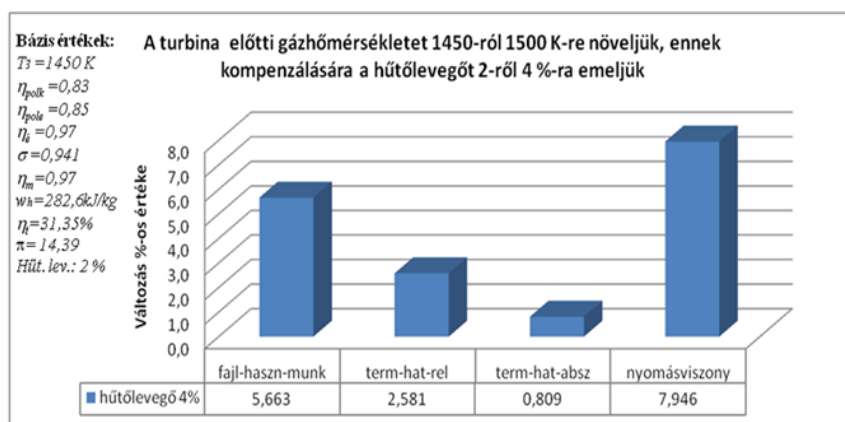
Ebben az esetben is a turbina előtti gázhőmérséklet növelésével a negatív hatás csökken ugyanolyan mértékű hűtőlevegő felhasználása mellett.

### Turbina előtti gázhőmérséklet növelése turbina hűtés növelésével

Amint az korábban említettem, a turbinahűtés önmagában csökkenti a fajlagos hasznos munkát és a termikus hatásfokot. Figyelembe véve azt, hogy a hűtés viszont lehetővé teszi a turbina előtti gázhőmérséklet növelését, az eredmény egy bizonyos hőmérsékletnövekedés után pozitív lesz mind a fajlagos hasznos munka, mind a termikus hatásfok szempontjából.

Erre látunk példát a 17. ábrán, ahol a gázhőmérsékletet 1450-ről 1500 K-re növeltem. Feltételezve, hogy a turbina hőterhelését a meglévő 2%-os hűtőlevegő 4%-ra növelésével lehet kompenzálni. Ez különösen a fajlagos hasznos munka, de a termikus hatásfok szempontjából is javulást eredményezett. Figyelembe kell venni azonban, hogy ehhez a kompresszor nyomásviszonyt a kezdeti 14,39-es értékről 15,53-ra kellene emelni. A modell ugyanis figyelembe veszi a hűtőlevegő növelésének negatív és a turbina előtti gázhőmérséklet növelésének pozitív hatását. A hatás megfelel a 7. ábra A–D pontjai közti folyamatnak, csak ebben az esetben a kompresszor politrópikus hatásfokának csökkenése helyett a hűtő-levegő elvétel negatív hatása jelenik meg. Ahogy ezt korábban leírtam a nyomásviszony emelésének súlyos hatása lehet a kompresszor politrópikus hatásfokára ennek a hajtómű kategóriának a kis kompresszor méretei miatt. Megjegyzendő még, hogy tekintve a számítógépes feldolgozást, nagyon pontos értékek

jelennek meg. A gyakorlati életben nagyon ritka az, hogy pl. a kompresszor nyomásviszonyra ne egész számú kerekítést adjanak meg a mérések bizonytalansága miatt. Ennek megfelelően itt is, bár az eredmények látszólag nagyon pontosak, de ezt kellő nagyvonalúsággal kell kezelni, különösen akkor, amikor egy valós hajtóműre próbáljuk illeszteni a modellt.



17. ábra Turbina előtti gázhőmérséklet növelés a turbinahűtés növelése mellett

Tehát szó sincs arról, hogy tizedes, netán százados pontosságig próbáljuk finomítani az illesztést, sőt a hajtómű valós adatainak bizonyos mértékű pontatlansága miatt 3–4%-os eltérések még teljesen normálisnak tekinthetők.

## A KOMPRESSZOR POLITRÓPIKUS HATÁSFOK, FAJLAGOS HASZNOS MUNKA ÉS A TERMIKUS HATÁSFOK ÖSSZEFÜGGÉSEI

### A politrópikus hatásfok kiemelt szerepének indoklása

Ahogy az előző elemzésekből kiderült, a kompresszor politrópikus hatásfokának van az egyik legjelentősebb hatása a hajtómű termikus jósági jellemzőire. Csökkenése az összes többi gépesség vesztésénél intenzívebben rontja a fajlagos hasznos munkát. A termikus hatásfokra gyakorolt hatás szempontjából csak a turbina politrópikus hatásfok csökkenésének van némileg nagyobb hatása. Figyelembe véve mindkét jellemzőt, kijelenthetjük, hogy a kompresszor politrópikus hatásfokának kiemelt szerepet kell tulajdonítani.

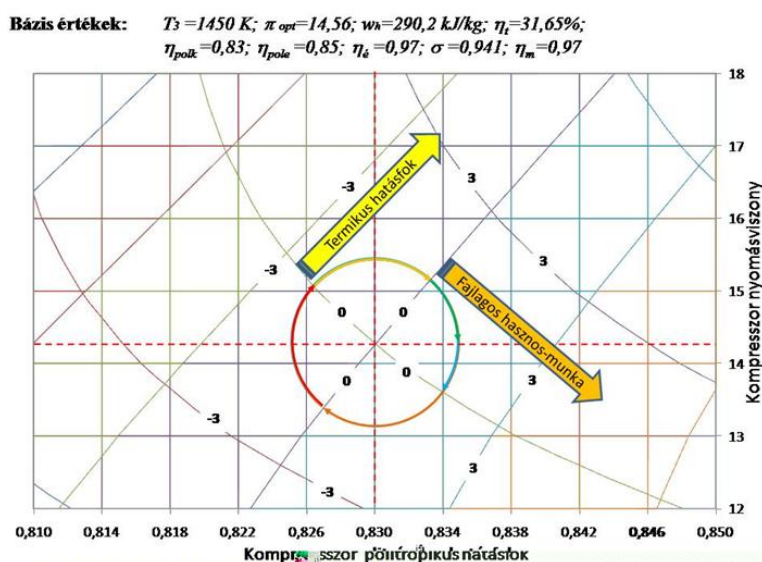
Ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy ennél a gázturbinás hajtómű kategóriánál a kompresszor maga és ezen keresztül a kompresszor politrópikus hatásfok érzékeny terület. Ez megjelenik már a tervezési folyamat során. Mint többször leírtam, ezeknek a hajtóműveknek a viszonylag kis méretei (kisebb levegőszállítás) kis kompresszor méreteket is eredményez. Törekedve a magas termikus hatásfokra és ennek megfelelően növelve a kompresszor nyomásviszonyt, rendkívül alacsony hátsó fokozat lapátmagasságok adódnak. A kis lapátmagasságok egyébként sem kedvezőek, de figyelembe véve, hogy még kis lapátrés esetén is a relatív lapátrés (a lapátvég és ház közötti rés, valamint a lapáthossz viszonyszáma) túlságosan nagyra adódik drasztikusan lerontva a hátsó fokozatok politrópikus hatásfokát, ami természetesen érezteti a hatását az egész kompresszor politrópikus hatásfokán is. Ennek az az eredménye, hogy lehetetlen ugyanazokat a jósági mutatókat produkálni ezekkel a hajtóművekkel, mint egy nagyobb gázturbinás hajtóművel, amelynek a levegőfogyasztása meghaladja a 30–40 kg/s-ot.

Másik jellemző probléma, hogy a helikopterek jellegükből adódóan (különösen a katonai helikopterek) gyakran használnak kiépítetlen le és felszállóhelyeket akár sivatagos területen is. Sokszor maga a repülési magasság is igen alacsony, ezzel nagymennyiségű szennyeződés, por, homok hajtóműbe való beszívását okozva. Ez a külső hatás szintén elsősorban a kompresszort, annak is az első fokozatát érinti jellemzően radikálisan csökkentve a politrópikus hatásfokát, a létrehozható maximális nyomásviszonyt és a stabilitási tartalékát.

Ebben a fejezetben először az első problémára szeretnék rávilágítani, nevezetesen, hogy ennél a hajtómű kategóriánál milyen szempontokat vehetnek figyelembe a tervezés folyamatánál és ezek milyen hatással lesznek a hajtóművek termikus jóságai jellemzőire (termikus hatásfok, fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás, fajlagos hasznos munka).

### Termikus hatásfok, fajlagos hasznos munka, kompresszor politrópikus hatásfok és a kompresszor nyomásviszony összefüggései

A modell segítségével ábrázoltam a termikus hatásfok, fajlagos hasznos munka görbesereget a kompresszor politrópikus hatásfok és a nyomásviszony függvényében. Bázis input adatokként továbbra is a korábban felvett veszteségekkel számoltam. Turbina előtti gázhőmérsékletként 1450 K-t választottam. Ez az un. optimális nyomásviszonyra (termikus hatásfok és a fajlagos hasznos munka maximumai közötti optimum) 290,2 kJ/kg fajlagos hasznos munkát és 31,65%-os termikus hatásfokot adott meg (a „0”-al jelzett görbék metszéspontja a 18. ábrán). Megjegyzendő, hogy ezek az értékek körülbelül megfelelnek egy mai korszerű helikopter hajtómű vonatkozó adatainak. Jelen esetben nem is az alapadatok a lényegesek, hanem a változások mértéke és iránya a kompresszor politrópikus hatásfokának változásakor rögzített turbina előtti gázhőmérséklet esetében. A 0-val jelzett görbékhez képest a  $\pm 3$ -al jelölt görbék mind a fajlagos hasznos munka, mind a termikus hatásfok 3%-os eltérését mutatják a bázis értékhez képest az előjeleknek megfelelően.



18. ábra Termikus hatásfok és fajlagos hasznos munka a kompresszor politrópikus hatásfok és nyomás-viszony függvényében

18. ábrából látható, hogy a kompresszor nyomásviszony növelésekor „vékony jégen” egyensúlyoznak a tervezők. Egyértelműen pozitív hatást csak a gyűrű zöld szektorában várhatunk.

Ebben az esetben a nyomásviszony növekedése együtt járna a politrópikus hatásfok növekedésével. Itt mind a fajlagos hasznos munka, mind pedig a termikus hatásfok növekszik. Ennek a nehézsége abban rejlik, hogy a kompresszor politrópikus hatásfok csökkenés fokozottan sújtja ezt a hajtómű kategóriát, különösen abban az esetben, ha a hajtómű kívánt nyomásviszonyát a kompresszor fokozatok számának növelésével próbálják elérni. Ehhez maguknak a fokozat politrópikus hatásfokoknak kell jelentősen javulniuk, hogy a kompresszor teljes politrópikus hatásfoka ne csökkenjen, sőt emelkedjen. Ez manapság nagyon nehéz, mert az alkalmazott 3D-s tervező rendszerekkel többé kevésbé elérték a lehetséges legjobb értékeket.

Adott esetben, kék szektor, a nyomásviszony csökkenése, ha ez együtt jár a kompresszor politrópikus hatásfokának növekedésével, pozitív hatással lehet, mind a fajlagos hasznos munkára, mind pedig a termikus hatásfokra. A sárga szektorok esetében legalább az egyik jellemző növekszik. A piros szektor mindkét jellemző szempontjából negatív hatást hoz. Látható, hogy még a vízszintes szaggatott vonal feletti része, ahol a nyomásviszony növekedésétől termikus hatásfok növekedést várnánk el, sem hoz pozitív eredményt.

Az általam elkészített program a fent elemzett hálót bármely turbina előtti gázhőmérsékletnél, illetve gépegység veszteségek esetében képes a kiválasztott nyomásviszony és politrópikus hatásfok tartományra felrajzolni és ezzel szemléletesen bemutatni, hogy adott nyomásviszony és politrópikus hatásfok változások hatására hogyan változnak a hajtómű jósági jellemzői.

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az elkészített termikus matematikai modell lehetővé tette, hogy bármilyen veszteségi adatok mellett felvehető legyen olyan termikus hatásfok és fajlagos hasznos munka „térkép”, amelyen a turbina előtti gázhőmérséklet és a kompresszor nyomásviszony függvényében azonnal megállapíthatók a fenti jósági jellemzők (5–6. ábrák).

Elvégezhető a paraméter érzékenységi vizsgálat, beleértve nemcsak a részegységek hatásfokának és veszteségeinek vizsgálatát, hanem a levegőelvételeket is, illetve a turbina hűtés hatását (8–11 és 15–17 ábrák).

Meghatározható, hogy létező hajtóművek munkapontjai hová vannak pozicionálva a legnagyobb fajlagos hasznos munka és a legjobb termikus hatásfokot meghatározó kompresszor nyomásviszonyok között (4. táblázat).

A modell segítségével ábrázolható a termikus hatásfok, fajlagos hasznos munka görbesereg a kompresszor politrópikus hatásfok és a nyomásviszony függvényében és közvetlenül leolvasható, hogy ez utóbbiak változása milyen hatással lesz a fenti hajtómű jellemzőkre (18. ábra).

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DR. PÁSZTOR Endre: Gázturbinás repülőgép hajtóművek, 1983, Előadás vázlat, Budapesti Műszaki Egyetem
- [2] VARGA Béla: A TV2-117A hajtómű termikus matematikai modellje, Diploma munka, Budapesti Műszaki Egyetem, 1990.
- [3] Component modelling for system models, e-doc, url: <http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/TR/RTO-TR-AVT-036/TR-AVT-036-04.pdf>, (2013.07.16.)
- [4] Data for some military gas turbine engine, e-doc, url: <http://www.aircraftenginedesign.com/TableB1.html>
- [5] Klimov, url: <http://en.klimov.ru/production/helicopter/TV2-117/>

- [6] Klimov, url: <http://en.klimov.ru/production/helicopter/TV3-117/>  
[7] GE Aviation, url: <http://www.geaviation.com/engines/military/t58/>  
[8] GE Aviation, url: <http://www.geaviation.com/engines/military/t64/>

### COMPUTER AIDED INVESTIGATION OF THE OPTIMAL WORKING POINTS OF GAS TURBINE ENGINES

*Real gas turbine cycles, within given temperature limits, and component efficiencies and losses have optimum operational points both for the specific net work output and thermal cycle efficiency that can be characterized by the compressor pressure ratio. It complicates the situation so that the compressor pressure ratio for the maximum specific net work output and thermal efficiency are different from each other. The thermal mathematical model presented in this paper allows the determination of the compressor pressure ratio both for maximum specific net work output, and thermal cycle efficiency, as well as compromised compressor pressure ratio related to the maximum value of their product. Furthermore, the model is suitable to make parameter sensitivity analysis and comprehensive thermal analysis of the gas turbine engines.*

**Keywords:** gas turbine cycle, specific net work output, thermal cycle efficiency, compressor pressure ratio, optimum operational points, parameter sensitivity.

Varga Béla (PhD)  
Egyetemi docens  
Nemzeti Közszerológati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Repülő Intézet  
Sárkány-hajtómű Tanszék  
varga.bela@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0003-3454-0825

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

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

A kutatás a fenti projekt „AVIATION\_FUEL” nevű kiemelt kutatási területén valósult meg.



<http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2018.pdf>



## AZ IPAR 4.0 JELLEMZŐI, TECHNOLÓGIÁINAK HATÁSA A REPÜLŐGÉPIPARRA

*A világban az utóbbi évtizedekben bekövetkezett változások, fejlődések miatt egy új ipari forradalomnak lehetünk szemtanúi. Az Ipar 4.0 és az ipari digitalizáció alapjaiban határozza meg a következő évtizedek ipari innovációs irányát, különösen az innovációra mindig fogékony repülőgépipart. A tanulmányban körüljárjuk a negyedik ipari forradalom kialakulásának előzményeit, majd egy átfogó jellemzést adunk a sajátosságairól. A forradalom alappillére a Dolgok Internete, a szimuláció, a Big Data analízis, a felhőalapú rendszerek, a rendszerintegráció, a kiterjesztett valóság, a kooperatív robotok, az additív gyártás és a kiberbiztonság. A publikációban kitérünk ezen technológiák tulajdonságaira, különös tekintettel a repülőipari hasznosításainak körülményeire.*

**Kulcsszavak:** Ipar 4.0, Dolgok Internete, felhőalapú rendszerek, rendszerintegráció, kiterjesztett valóság, kooperatív robotok, additív gyártás, kiberbiztonság

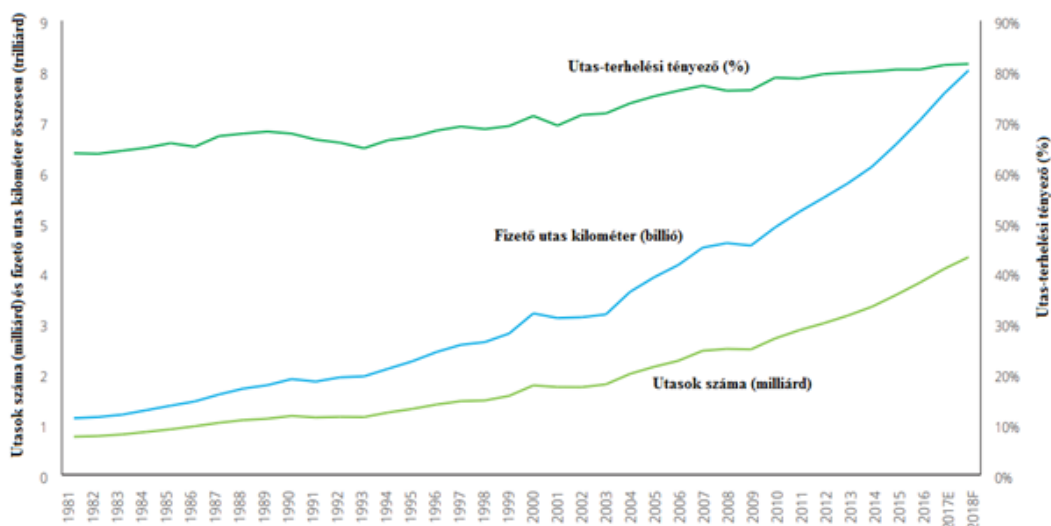
### BEVEZETÉS

Több szakértő egybehangzó véleménye szerint, a közeljövőben az ipari szereplők számára egyre inkább általános elvárás lesz az, hogy az egyéni igényeknek megfelelő, rövid átfutási idejű termékeket kínáljanak a szériagyártásnak megfelelő áron [1] [2]. Így a várakozások szerint a jövőben az egy üzem által gyártott termékféleségek száma növekedni fog, valamint egyre gyakoribbá válik a vásárlók részéről az egydarabos megrendelési egység.

Térségünk, az Európai Unió legerősebb iparával Németország rendelkezik [3][4]. Az ország a nemzetközi ipari versenyben való előkelő pozíciójának megtartását, erősítését a kutatás és az innováció területén látja [5]. A következő évtizedeket meghatározó ipari és társadalmi programjuknak az Ipar 4.0 (németül: Industrie 4.0) nevet adták, melyet a negyedik ipari forradalomként is szoktak emlegetni [6].

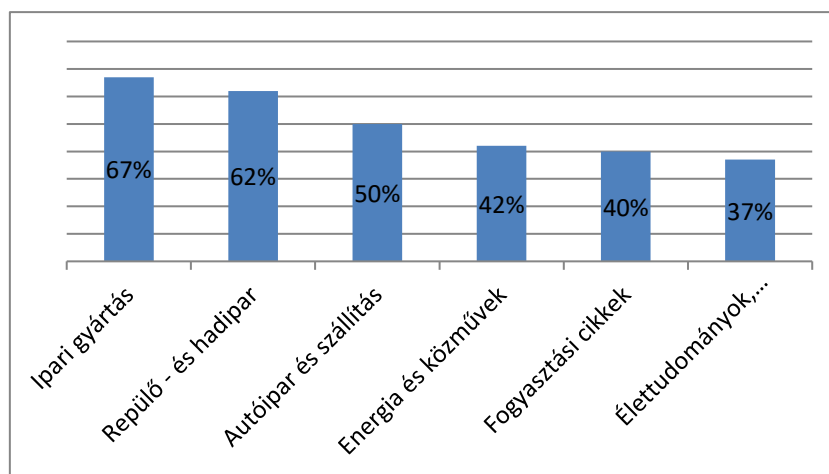
Megjelenésétől kezdődően az Ipar 4.0 trendet teremtett mind az ipari gyakorlattal, mind az ipari kutatással foglalkozó szereplők körében [7] [8]. A PricewaterhouseCoopers (PwC) Könyvvizsgáló és Gazdasági Tanácsadó vállalat kutatása szerint [9] a német termelő vállalatok éves szinten összesen 150 milliárd dollárt fognak az Ipar 4.0-hoz köthető alkalmazásokba investálni a közeljövőben. Ezek a vállalatok a mai átlagosan 33%-os digitalizáltsági szintű termelésüket 72%-os szintre akarják emelni 2020-ig.

A repülőgépgyártás az ipari innováció tekintetében a történelem során mindig kiemelt helyen állt, hiszen a gazdaságos és a megfelelő biztonságot nyújtó légiközlekedés elérése érdekében a legújabb technológiákra volt szükség. Ezen kívül az ágazatban nagy igénynövekedés tapasztalható. Mind az utasok száma, mind az összesen megtett kilométerszám folyamatosan emelkedik, (1. ábra) és ez a tendencia valószínűsíthető a közeljövőben is [10]. Ezen okok miatt az iparágban nagy mértékű azon cégek aránya (2. ábra), melyek valamilyen a negyedik ipari forradalomhoz köthető megoldás alkalmazását tervezik.



1. ábra A légitársaságok során fellépő igénynövekedés [10]

A publikáció célja az, hogy az Ipar 4.0-ról és annak alappilléreiről egy átfogó képet kapjunk, valamint bemutassuk a repülőipari vonatkozásait. A tanulmány az alábbi fejezetekből áll: az első, bevezető rész után a második fejezetben az Ipar 4.0 kialakulását, jellemzőit és alapelveit járjuk körül. Ezt követően a harmadik fejezetben az Ipar 4.0 technológiáit vesszük sorba. Ezen technológiák alkalmazása többnyire általánosan alkalmas az ipari szereplőkre, azonban igyekszünk konkrét repülőipari vonatkozásokat is említeni.

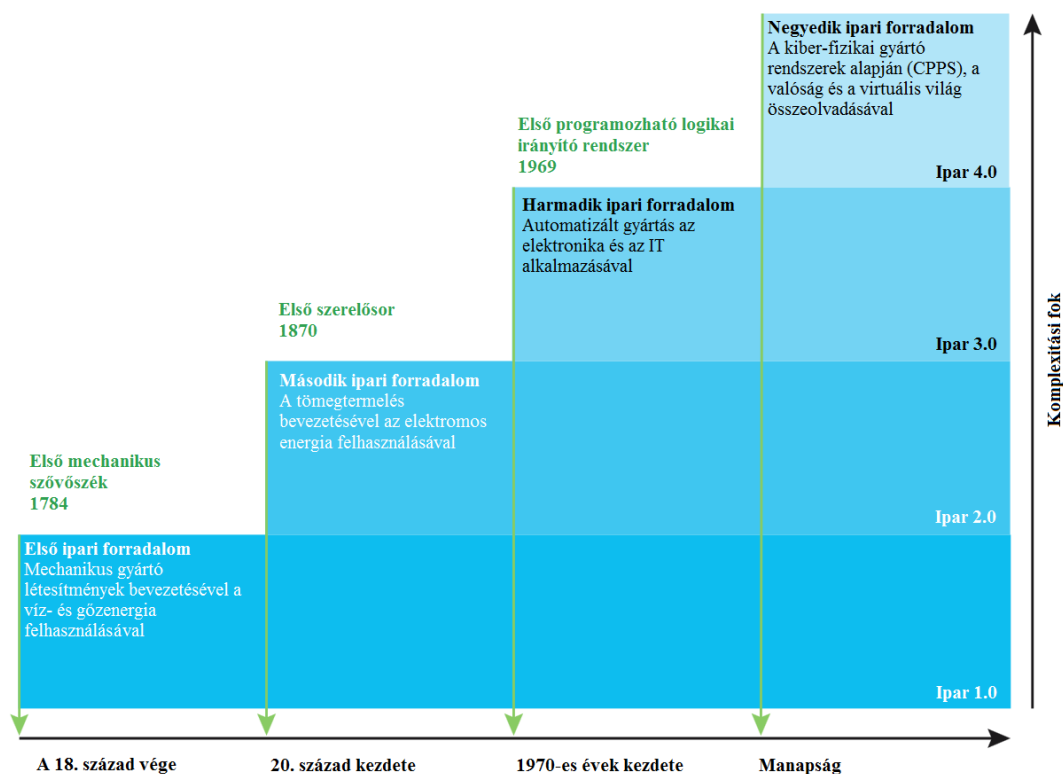


2. ábra Azoknak a gyártóknak a piaci részesedése, akiknél folyamatban van valamilyen okos gyár megoldás

## AZ IPAR 4.0 JELLEMZŐI

A korábbi ipari forradalmak mind valamilyen technológiai fejlesztéssel kezdődtek (3. ábra). Az első ipari forradalmat a 18. század végén létrejövő iparosodás jelentette, amit a gőz- és a vízenergia által támogatott különböző mechanikus gyártóberendezések (például: szövőgép) feltalálása segített [11]. A második ipari forradalomhoz a 20. század elején létrejövő tömeggyártás elterjedését lehet kötni, amit az ipari felhasználású elektromosság alkalmazása tett lehetővé [12]. A harmadik ipari forradalmat az 1970-es években az elektronikus vezérlők elterjedése váltotta ki, ami áttörést jelentett az automatizált gyártásban [13].





3. ábra Az ipari forradalmak és jellemzőik [14]

A negyedik ipari forradalom kifejezés megjelenését hagyományosan a 2011-es Hannoveri Vársárhoz kötik. Itt mutatta be [15] a tervezetet Henning Kagermann, a Német Műszaki Tudományok Intézetének (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften - Acatech) elnöke, Wolf-Dieter Lukas, a Német Kutatási Minisztérium Kulcs technológiák – Innováció-kutatás (Schlüsseltechnologien – Forschung für Innovationen) részlegének vezetője és Wolfgang Wahlster, a Német Mesterséges Intelligencia Kutatóintézet (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz – DFKI GmbH) vezetője. Elsősorban a paradigmaváltást hangsúlyozták ki, amely az addigi hagyományos központi irányítású gyárakból a lokális irányítás felé tereli a hangsúlyt. Példaként azt hozták fel, hogy egy központi adatbázis helyett a termékben magában van kódolva, hogy milyen további értékhozzáadást igényel. Már ekkor megemlítenek a negyedik ipari forradalomhoz köthető különböző technológiai fogalmakat, mint a Dolgok Internete, a kiber-fizikai rendszerek, vagy a gép-gép közötti kommunikáció.

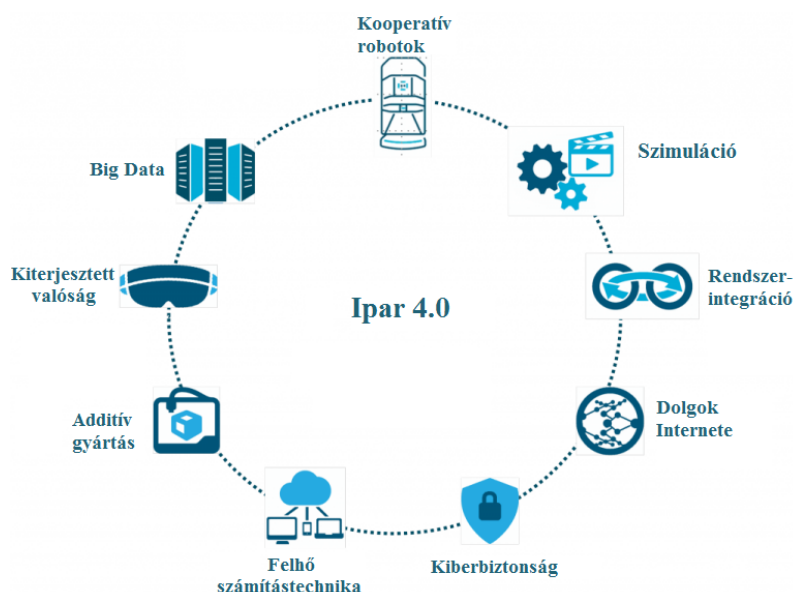
Az Ipar 4.0 kifejezésnek megjelenése óta nincs egy általánosan elfogadott egzakt definíciója [16], szakértők azonban több megközelítésű értelmezést is adtak a fogalomnak. „Az értéklánc szervezésének és az menedzsmentjének egy új szintje a termék egész életciklusán keresztül” [17]. Vagy: „az értéklánc szervezés technológiai és koncepció gyűjtőfogalma” [18]. Thames és Shaefer pedig úgy fogalmaztak, hogy az Ipar 4.0 alapvető célja a termelékenység és a műveleti hatékonyság emelése, valamint az automatizáltsági fok erősítése [19].

Az évek során hat alapelv fogalmazódott meg, amelyek az Ipar 4.0 fejlesztéséhez és alkalmazásához adnak iránymutatást [18] [20]:

1. **együttműködés:** a fizikai világ elemei (rendszerek, emberek, információk) szoros összeköttetésben vannak egymással a kiber-fizikai rendszerben (a fizikai és a virtuális világ elegye). Ez elősegíti a gyors információáramlást;

2. **valós idejű műveleti kapacitás:** a folyamatos adatgyűjtéssel és feldolgozással a pillanatnyi helyzethez leginkább alkalmazkodó döntéseket lehet meghozni;
3. **virtualizáció:** a gyártási szinten lévő szenzorok lehetővé teszik a gyártási folyamatok távoli nyomon követhetőségét és monitorozását;
4. **decentralizáció:** a gépek, folyamatok működéséhez szükséges információk nem csak egy központi irányító rendszerből érkehetnek. A valós idejű műveleti kapacitások segítségével a kiber-fizikai rendszerek nemcsak végrehajtóként működnek, hanem adatokat is tudnak szolgáltatni, és a gyártási folyamatnak megfelelően beavatkozásokat tudnak tenni;
5. **szolgáltatásorientáció:** szolgáltatásközpontú szoftverek alkalmazása;
6. **modularitás:** a gyártási folyamatnak megfelelően könnyen lehet gyártási modulokat a rendszerhez illeszteni, illetve attól elvenni.

A negyedik ipari forradalom több technológiai alappillérből [21] tevődik össze, úgymint a Dolgok Internete, a szimuláció, a Big Data analízis, a felhőalapú rendszerek, a rendszerintegráció, a kiterjesztett valóság, a kooperatív robotok, az additív gyártás és a kiberbiztonság (4. ábra). Ezeknek a technológiai ágaknak a nagy része már a múltban is a gyártási tevékenységek részét képezték, azonban egymástól elszigetelt, külön-külön optimalizált megoldásként működtek. Az alappilléreket felhasználva és az Ipar 4.0 irányelveit szem előtt tartva viszont egy teljesen integrált, automatizált és a gyártás szempontjából rendszerszinten optimalizált termelő szervezetet kapunk eredményül. A tanulmány további részében ezeket az alappilléreket járjuk körül.



4. ábra A negyedik ipari forradalom technológiái [22]

## AZ IPAR 4.0 TECHNOLÓGIÁI

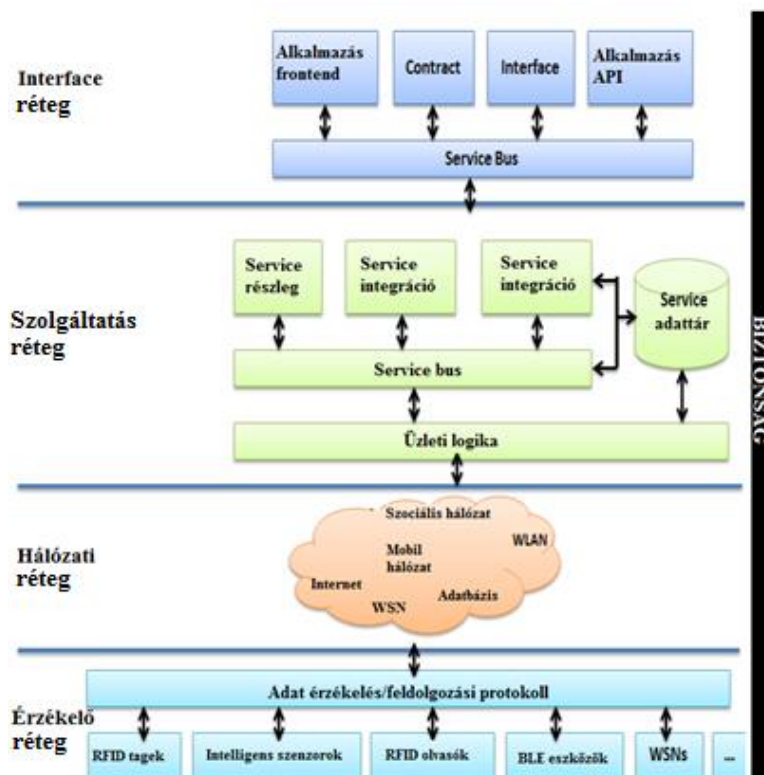
### A Dolgok Internete és szimuláció

„A Dolgok Internete (angolul: Internet of Things – IoT) vagy az okos (angolul: smart) jelzővel ellátott eszközök az egymással összeköttetésben lévő készülékek hálózatát jelenti, melyben az egyes tagok egyénileg címezhetők, valamint az egymás közötti kommunikáció valós időben és szabványos IP protokollokon keresztül történik” [23].

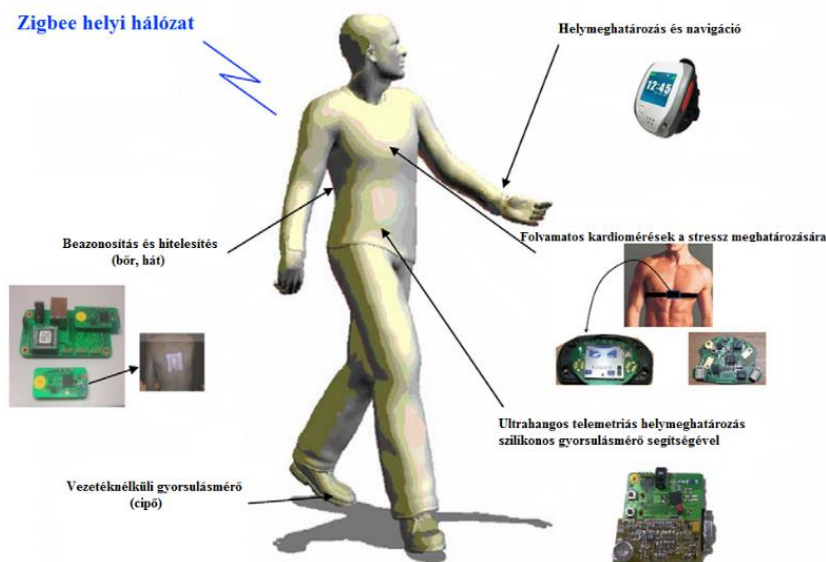
Miorandi és társai [24] az okos eszközöket a következőképpen definiálják: olyan egységek, amiknek van fizikai kiterjedésük (méret, alak, satöbbi), kommunikációs képességük, egyedileg azonosíthatók, van nevük és elérési címük, képesek alapvető matematikai műveletek elvégzésére és érzékelik a fizikai valóságot (például a hőmérsékletet), vagy a fizikai környezetben bekövetkező változásokat.

Több fajta architektúra modell is említésre került a Dolgok Internete kapcsán [25] [26] [27]. Xu szerint [27] külön rétege van az érzékelésnek, a hálózatnak, a szolgáltatásnak, illetve az interface-nek (5. ábra). Az érzékelő réteghez a fizikai világot figyelő, azt irányító különböző hardware-ek tartoznak. Ezek lehetnek rádiófrekvenciás azonosítók (angolul: Radio Frequency IDentification – RFID) intelligens szenzorok, mérőberendezések és végrehajtók [28], melyek a gyártási szintről vételeznek különböző fizikai jellemzőkről jeleket, illetve ott valamilyen parancsot hajtanak végre. A hálózati réteg biztosítja az alap hálózati összeköttetést a berendezések és a logikai irányítás között. A szolgáltatási réteg a felhasználó számára szükséges szolgáltatásokat kezeli, irányítja. Itt lehet különböző szabályokat definiálni, amivel az egész rendszert felügyelni, irányítani lehet. Az interface réteg a felhasználók más alkalmazásaival való kommunikációjáért felelős. Fontos szempont az egész architektúrát átfogó biztonsági rendszer [29], ami a cég adatainak védelméért felelős.

A technológia hasznosítása nagyon széleskörű lehet. Az okos otthonok (angolul: Smart homes) [30], illetve okos városok (angolul: Smart cities) [31] kialakításával lakóhelyünk, környezetünk működését tudjuk optimalizálni, fenntarthatóbbá és kényelmesebbé tenni. A technológia segítségével az emberi testtől begyűjtött egészségügyi információkat is lehet mérni, ami alapján különböző élettani következtetéseket lehet levonni. Ezek a hordozható okos eszközök (angolul: Smart Wearable Devices – SWH) (6. ábra) [32] [33].



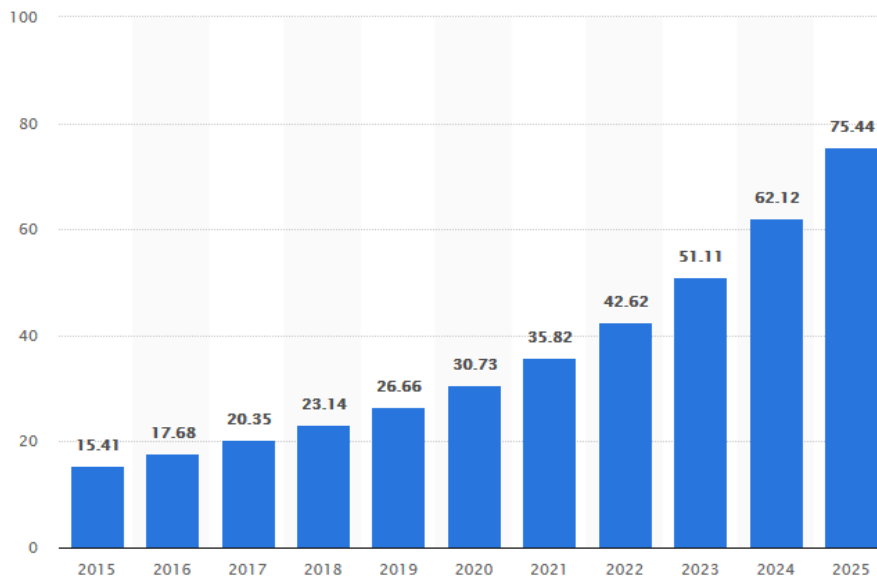
5. ábra A dolgok internete architektúrája [27]



6. ábra Hordozható okos eszköz példák [32]

A Dolgok Internetével kapcsolatban egyre több termék lát napvilágot. Egy kutató szakportál [34] szerint 2018-ban 23 milliárd, 2025-re pedig már 75 milliárd okos eszköz lesz világszinten forgalomban (7. ábra).

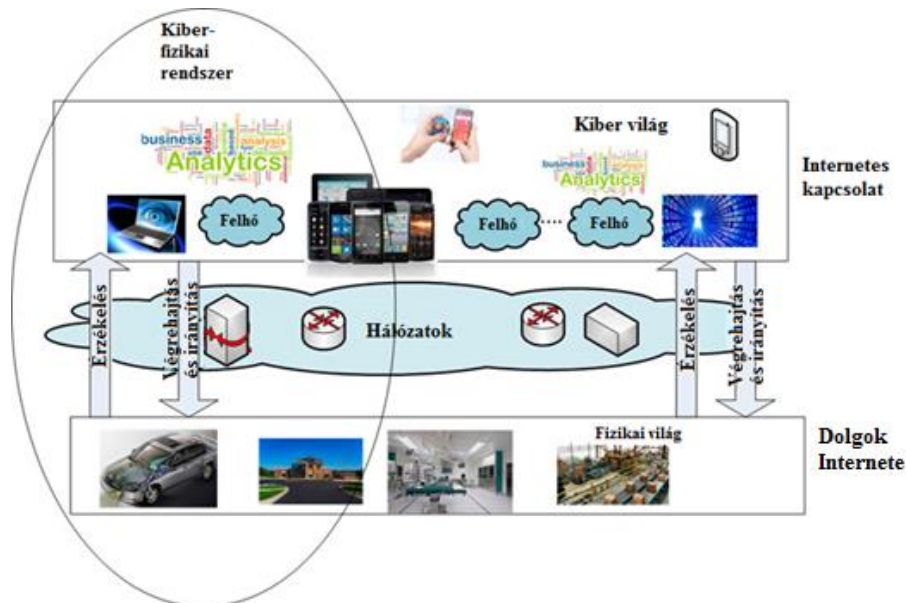
A Dolgok Internete ipari alkalmazására – elsősorban az USA-ban – általában a kiber-fizikai rendszerek (angolul: cyber-physical systems - CPS) kifejezést szokták használni (8. ábra) [35].



7. ábra A használatban lévő Dolgok Internete eszközök 2015-től 2025-ig a világban [34]

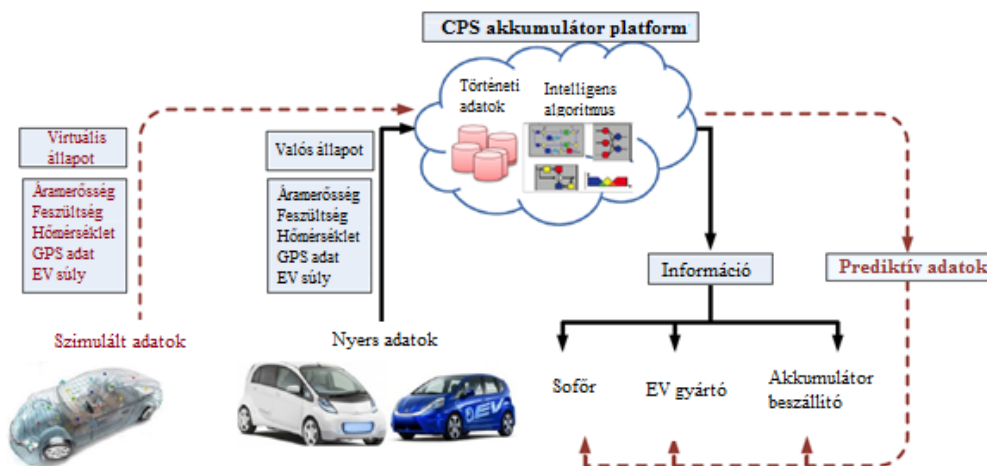
Kiber-fizikai rendszerek kifejezést az Egyesült Államokbeli National Science Foundation munkatársa, Helen Gill alkotott meg, és a fizikai folyamatok számítástechnikába való integrálásaként definiált [36] [37]. A CPS a Dolgok Internetéhez hasonlóan a fizikai világból szenzorok segítségével gyűjt adatokat, azonban a vizsgálat középpontjában nem egy folyamat, hanem általában egy kifejezett rendszer (például egy egész gépjármű) áll [38] [39]. A CPS keretei között így létrejön egy digitális ikerpár, ami a fizikai rendszer pontos kiber mása, és tartalmazza az eredeti összes funkcióját [40]. A digitális ikerpár számítási moduljai feldolgozzák ezeket az adatokat, értesíthetik a fizikai rendszert a pillanatnyi állapotról, irányító utasításokat

küldhetnek, szükséges változtatásokat eszközölhetnek a fizikai világban és újraprogramozhatják a rendszerparamétereket [41] [42]. A költséghatékonyság és jobb időgazdálkodás érdekében lehetőség van arra is, hogy előre definiált szigorú szabályok szerint emberi beavatkozás nélkül valamilyen gépi eszköz a kommunikációs eszközeivel egy másik gépi eszközzel lépjen kapcsolatba (angolul: machine-to-machine – M2M) [43].



8. ábra Kiber-fizikai rendszerek elvi ábrája [35]

A digitális ikerpár fogalmához lehet kötni a rendszerek szimulációját is. A fizikai világból jövő jelekből, történeti adatokból és intelligens algoritmusokból egy olyan szimulációt lehet elvégezni, amellyel egy jövőbeli állapotot, vagy egy megváltozott külső körülményre adott valószínű válaszreakciót lehet modellezni. Lee és társai [44] egy elektromos autó akkumulátorát hozza fel példaként, amikor az akkumulátor feszültségéből, az autó sebességéből és számos egyéb diagnosztikai adatból következtetéseket von le az akkumulátor további viselkedésére, élettartamára (9. ábra). Ezek az adatok hasznosak lehetnek a jármű felhasználójának, a járműgyártónak, valamint az akkumulátor gyártójának is.

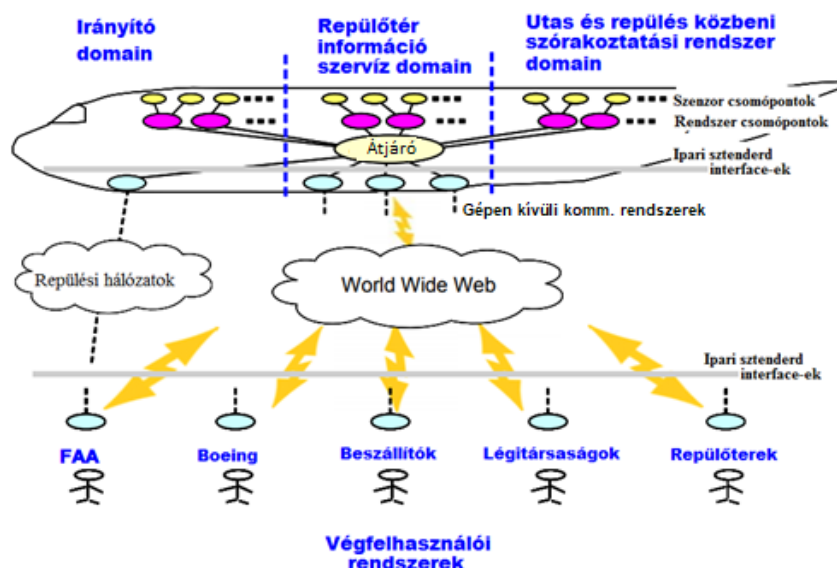


9. ábra CPS akkumulátor példája [44]

Az CPS, illetve az okos szenzorok alkalmazása a repüléstudományban már az Ipar 4.0 megjelenése előtt is elterjedőben volt. A Boeing repülőgépgyártó cég már 2008-ban a CPS általi



ugrásszerű adatforgalom növekedéséről ír [45]. A CPS lehetővé teszi, hogy a földi állomások és a légi rendszerek kommunikáljanak egymással (10. ábra), így megoldható a repülőgépek állapotának folyamatos valós idejű monitorozása, valamint a különböző folyamatok felügyelete, vezérlése. Az okos szenzorok alkalmazása forradalmasíthat olyan repüléstechnikai eljárásokat, mint például a repülőgép különböző berendezéseinek élettartam figyelése [46] vagy a légiforgalmi irányítás. Ezen kívül az intelligens jármű számára elérhető, hogy részt vegyen egy közlekedési információban gazdag közúti infrastruktúrában, amivel a közúti közlekedés biztonsága és hatékonysága javul [47][48].



10. ábra CPS egyik lehetséges alkalmazása repüléstechnikai környezetben [45]

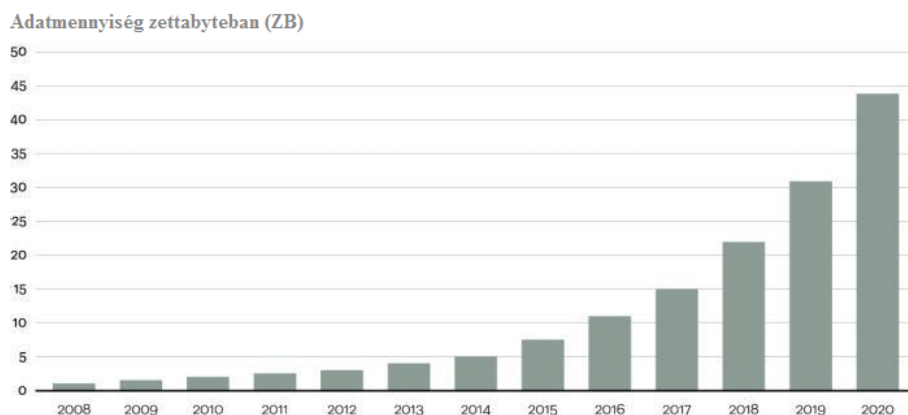
## Big Data analízis

Az egyre olcsóbb és egyre inkább elterjedő adatgyűjtő szolgáltatások révén, valamint az egységnyi adattárolási költség folyamatos csökkenésével a világban egy év alatt feldolgozott és tárolt adatok száma exponenciálisan növekszik (11. ábra). A világon naponta 2,5 millió exabájtnyi (1 exabájt = 1 000 000 terrabájt) adat keletkezik [49]. Ezek az adatok származhatnak az egyre népszerűbb szociális média felületekről [50], vagy akár egyéb adatbázisokból, amely adatbázisok webalapú formokból, PDF-ekből, e-mailekből és egyéb formátumú dokumentumokból tevődnek össze [51].

Ehhez hasonló módon az ipari cégek által az IoT és a CPS segítségével gyűjtött adatok száma is évente drasztikusan emelkedik. Ez az adathalmaz az egyén és a klasszikus számítástechnikai módszerek által kezelhetetlen méretű [53]. Az IoT és CPS rendszerek az ipari berendezésektől származó jeleket összegyűjtik, majd továbbítják egy adattárolási rendszernek. Ahhoz azonban, hogy ebből az adathalmazból megfelelő következtetést lehessen levonni, Big Data elemzés szükséges [50].

Az Ipar 4.0-hoz hasonlóan a Big Data fogalomnak sincsen egy általánosan elfogadott definíciója, azonban a jelentése viszonylag jól körüljárható. Laney [54] szerint „a nagy mennyiségű, nagysebességű és nagy változatosságú információk a jobb megértés és döntéshozatal érdekében költséghatékony, innovatív jelfeldolgozást igényelnek.” Egy másik tanulmány [55] szerint: „[a Big Data] a technológia és architektúra új generációja, melynek az a célja, hogy nagyon nagy

mennyiségű, széleskörű adathalmazból gazdaságosan vonja ki az értéket, lehetővé téve így a nagy sebességű adatrögzítést, felfedezést és/vagy elemzést.”



Forrás: Oracle, 2012

11. ábra Évenként tárolt adatok mennyisége a világban zettabájtban [52]

A szakirodalomban a Big Data analízissel kapcsolatban fellelhető jellemzésekben többnyire megtalálható a három, angolul „V” betűvel kezdődő kifejezés [56]:

- **Volume** (mennyiség): Az adatok nagyméretűek is lehetnek, valamint különböző forrásból is származhatnak;
- **Velocity** (sebesség): az adatok nagy sebességgel, valós időben kerülnek feldolgozásra, így monitorozva a pillanatnyi állapotot;
- **Variety** (változatos): az információknak különböző formái lehetnek, pl.: kép, videó, log fájl stb. Lehetnek strukturált vagy akár nem strukturált formátumban is.

Ezen kívül további kettő angolul, „v” betűvel kezdődő szóval lehet még jellemezni a Big Data fogalmat [50]:

- **Veracity** (igazság): a gyűjtött adatoknak a valóságot kell tükrözniük ahhoz, hogy megfelelő elemzést lehessen velük végezni;
- **Value** (érték): a nagy adathalmazból megfelelő következtetést kell levonni, amiből valamilyen gazdasági hasznosítás származhat;
- A Big Data elemzések kapcsán öt fő elemzési típust lehet megkülönböztetni: az adat-, a szöveg-, a web-, a hálózat- és a mobilelemzést [57]. A leginkább elterjedt elemző környezetnek a Hadoop-ot lehet említeni, amely kisebb teljesítményű hardverek összekapcsolását teszi lehetővé. Így viszonylag olcsón lehet létrehozni egy rugalmas, megbízható rendszert, ami bármilyen típusú, nagy mennyiségű adat tárolását, feldolgozását lehetővé teszi [58].

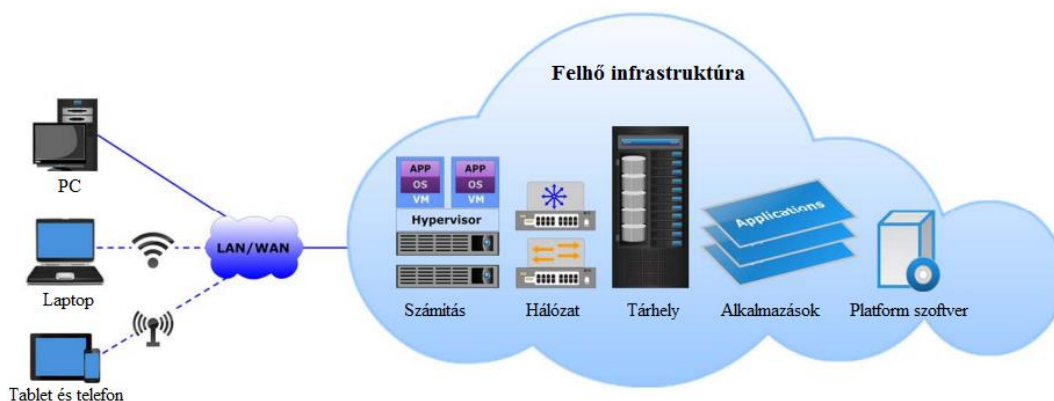
A vállalatok a Big Data analízissel többek között a piacról, a vevőkről, a termékekről, a konkurenciáról szerezhetnek be gyors és pontos többletinformációkat. Ezzel az alkalmazó szervezet menedzsmentje agilisabb lesz, lényegesen jobb döntéseket tud hozni, amivel hosszabb távon versenyelőnyre tehetnek szert [59]. A cégek várakozásai szerint több milliárd dollárt hozhat a gyártó cégek számára a Big Data analízis, ami a költségek csökkenésének, a hatékonyság és a nyereség növekedésének köszönhető. A szervezetek több mint fele két éven belüli megtérülést vár a technológiától [60].

A Big Data repüléstudományi hasznosítója első sorban a repülőgépgyártó és az -üzemeltető vállalatok, polgári közlekedés esetén a légitársaságok lehetnek. Ezek a vállalatok a

rendelkezésre álló okos szenzorok által gyűjtött adatokkal a Big Data elemzés segítségével meg tudják határozni az esetleges meghibásodás valószínűségét. Továbbá különböző egyéb adatgyűjtő forrásból megfelelő információjuk lesz az utasok szokásairól. A Big Data analízis használatával előrejelző modelleket lehet elkészíteni, amivel meg tudják határozni a járatok jövőbeli kihasználtságát, nyereségességét. Hatékonyabb marketing eszközökkel és célzott ajánlatokkal tudnak magasabb bevételre szert tenni. Lényegesen több információ áll a rendelkezésükre, amivel az erőforrásaikat hatékonyabban tudják elosztani.

### Felhőalapú rendszerek

Amerikai Nemzeti Szabványügyi és Technológiai Intézet (NIST) szerint a felhőalapú rendszerek definíciója a következő: „A felhőalapú számítástechnika egy olyan modell, amelynek segítségével bárholnan kényelmesen és igény szerint hozzáférhetünk a testreszabott informatikai erőforrások megosztott halmazához (például: hálózatokhoz, szerverekhez, tárhelyekhez, alkalmazásokhoz, szolgáltatásokhoz), miközben a rendelkezésre bocsátás minimális adminisztrációs tevékenységet és szolgáltatói beavatkozást igényel” [61] [62].



12. ábra Felhő infrastruktúra elvi ábrázolása [63]

Az informatikai felhő alkalmazásával egy vállalat az adatait, szolgáltatásait nem egy saját dedikált hardveren, hanem egy szolgáltató eszközein elosztva kezeli. A felhasználtól el van különítve az informatikai szolgáltatás üzemeltetési részletei, ezeket az eszközöket hálózaton, az internet segítségével érheti el (12. ábra).

Számos előnyös tulajdonsága miatt egyre szélesebb körben alkalmaznak a vállalkozások felhő rendszereket. Egyik ilyen kedvező tulajdonságuk, hogy csökkenthetik a költségeket. Elsősorban a kisebb vállalatok számára igazán jövedelmező a technológia, hiszen nem kell egyszeri nagy költséget investálniuk az informatikai fejlesztésekbe, mivel a felhőalapú rendszereket általában egy külsős cég szolgáltatásként nyújtja [65]. A felhőalapú rendszerek további előnye a magas fokú rugalmasság. A felhasználók könnyen és gyorsan módosíthatják, illetve személyre szabhatják a felhő szolgáltatás számítási kapacitását [65] [66]. Ezen kívül a felhő rendszerek használatával – megfelelő hálózati kapcsolat esetén – bárholnan, gyorsan hozzáférhetnek az információs rendszerhez.

A gyártási szektorban, különösen a repülőgépiparban nagy jelentősége van egy új termék vagy szolgáltatás kifejlesztésénél a vállalat részlegei közötti gyors és hatékony együttműködésnek. Sok repülőgépipari céget azonban hátráltatja [67] az elavult informatikai rendszere, aminek a fenntartása



rendkívül sok forrást felemészt. Xu-hoz [68] lehet kötni a felhő koncepció ipari szegmensre való első alkalmazását. Gyártó környezetben való használatának konkrét előnye többek között az, hogy bárholnan, kényelmesen, biztonságosan [69] és igény szerint hozzáférhetünk a gyártáshoz szükséges mindenre kiterjedő erőforrásokhoz (például gyártási szoftverek, gyártási felszerelések és gyártási kapacitások) tartozó adatokhoz (13. ábra), amiket gyorsan és kényelmesen lehet elérni, módosítani, valamint minimális számítási kapacitást igényelnek a vállalat részéről [70].



13. ábra A felhőrendszer elvi ábrázolása ipari környezetben [64]

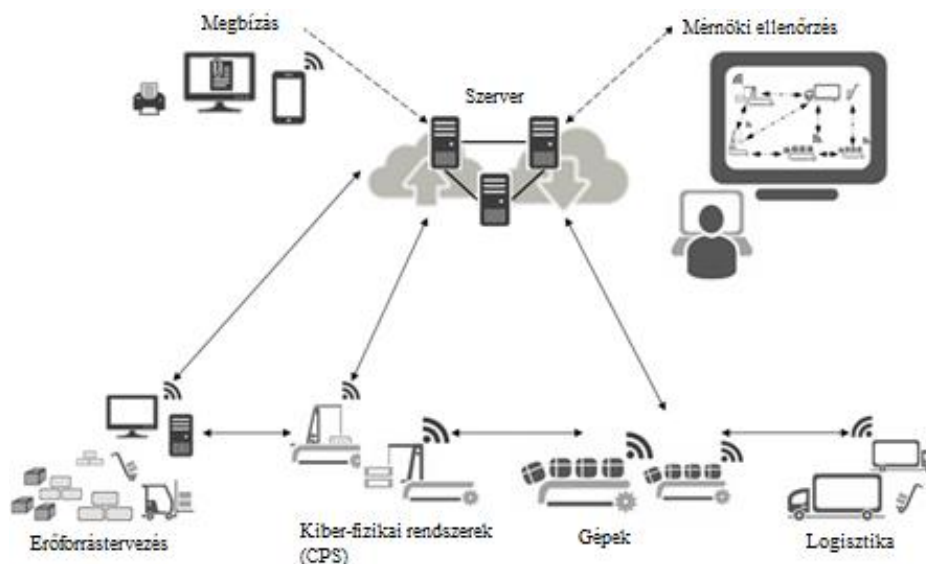


14. ábra A rendszerintegráció elvi ábrázolása [71]

### Rendszerintegráció

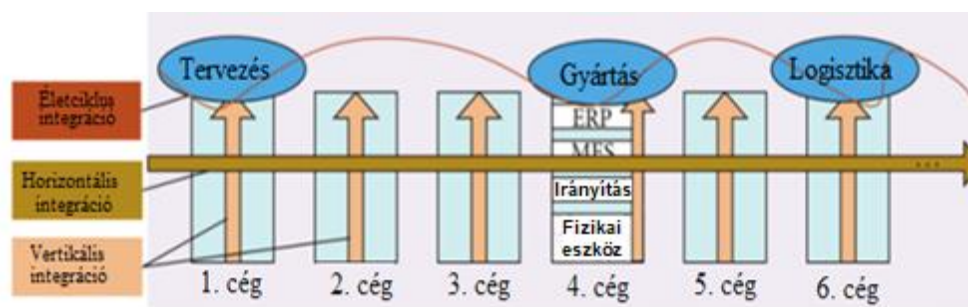
Az Ipar 4.0 előnyeit addig nem lehet igazán kihasználni, amíg a vállalat rendszerszintű integrációjára sor nem kerülne [72]. Ipar 4.0 kapcsán rendszerintegráció alatt az egy vállalaton belüli részlegek (vertikális integráció) közötti, a termék teljes életciklusát lefedő mérnöki tevékenység és az ellátási lánc különböző szereplői (horizontális integráció) közötti szoros, informatikai rendszer által vezérelt összeköttetést értjük. (14. ábra) [73] [74].

A vertikális integráció alatt az egy gyártási szereplőnél lévő egy rendszerbe való integrálását értjük. A gyártási shopfloor szinten ez úgy jelenik meg, hogy a gyártási folyamathoz kapcsolódó szenzorok és végrehajtók valós időben kapcsolódnak a vállalat gyártástámogató rendszerén és a gyártási mutatókon keresztül a cég egész hierarchiájához, egészen a menedzsmenti szintig. Az ellentétes irányba pedig a vezetői irányítási műveletek hatást gyakorolnak a gyártási szintig kiterjedően az egész rendszerre (15. ábra). Az egész rendszer autonóm részei automatikusan illeszkednek a változtatásokhoz [75]. A számítógépes gyártásirányítási rendszer (MES) lesz az összekötő kapocs a gyártási és az irányítási szintek között [76].



15. ábra A vertikális integráció elvi ábrázolása [77]

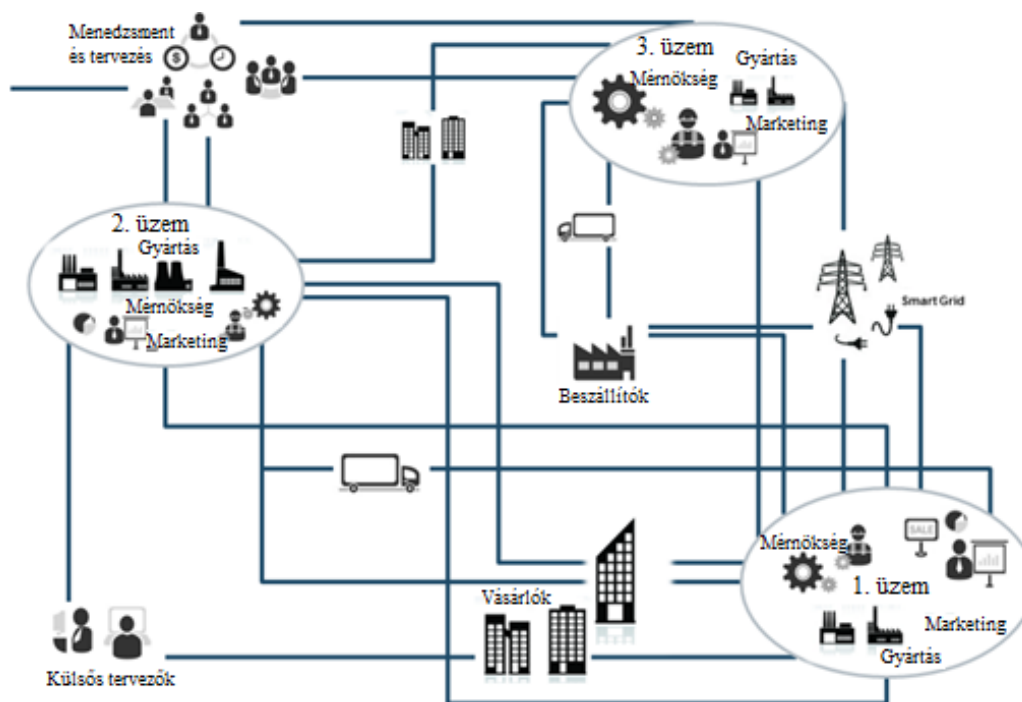
A termék teljes életciklusát lefedő mérnöki folyamat alatt az értjük, hogy a vállalat által készített gyártmány életciklusának minden szakaszában (alapanyag stádiumtól egészen a használat utáni időszakig) különböző digitális kapcsolatban áll az ellátási lánc szereplőivel (16. ábra). Ezek a különböző életciklusban mért adatok nagy mértékben elősegítik a termék további fejlesztését, optimalizálását [78].



16. ábra A rendszerintegráció elvi ábrázolása gyártó vállalatnál [78]

A horizontális integráció a beszállítótól a vevőig terjedő ellátási lánc összeköttetésének digitális támogatására vonatkozik (17. ábra). A horizontális integrációval a vállalati határok kiszélesednek, digitális kapcsolatokon keresztül összekötve így a beszállítókat és a vevőket. Az ellátási láncban az egyes szereplők így a kapacitásaikat sokkal rugalmasabban kezelhetik partnereik körében [79]. Egy, már korábban említett felhő rendszerben lehet a termék életpályájához szükséges összes információt tárolni. Ugyanebben a felhőben, valós időben nyomon lehet követni a

partnerek kapacitásait. A partnerek – például Big Data analízissel – egymás között el tudják osztani a feladatokat a képességek, a kapacitások, valamint a vevőhöz való távolság függvényében [2]. Emiatt az együttes teljesítményük várhatóan nagyobb lesz, mint a külön-külön elérhető teljesítményük összege [80].



17. ábra A horizontális integráció elvi ábrázolása [77]

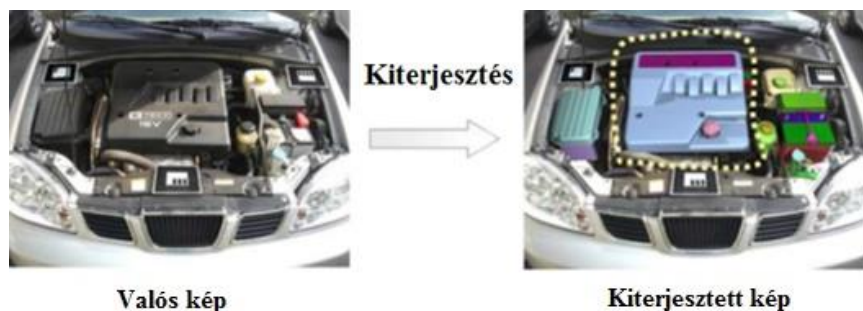
Ha egy vállalaton belül létrejön a rendszerintegráció, az informatikai rendszer átlátható és az egyes elemei egymásra épülők lesznek. A cég dolgozói számára ez annyit jelent, hogy a megfelelő munkavégzésükhöz szükséges adatokhoz könnyebben hozzáférhetnek. Ezáltal a különböző szinteken lévő folyamatokra nagyobb rálátásuk nyílik, a döntéseket körültekintőbben tudják meghozni. Ezen kívül a rendszerben lévő általános vállalati kommunikáció erősödik. „Minél magasabb a technikai integráció szintje, annál erősebb a virtuális és a fizikai világ közötti kapcsolat rugalmassága, intenzivitása és erőssége.” [81] A vállalat számára a rendszerintegrációval teljesítménynövekedés, kevesebb veszteség és nagyobb növekedési perspektíva érhető el.

A Dassault Systèmes, a világ vezető 3D tervező szoftvereikkel és termék életciklus menedzsmenttel foglalkozó vállalata a BoostAeroSpace európai légi- és védelmi ipari digitális központjával 2014-ben AirDesign néven együttműködési platformot hozott létre [21][82]. Ennek horizontális integrációnak a keretei között egy semleges, méretezhető munkatér szolgáltatás jött létre a partnerek között, amit egy magas biztonságú magánfelhőn lehet elérni. Az együttműködés drasztikusan csökkenti a partnerek működési költségeit, mivel egy infrastruktúrát használnak anélkül, hogy a meglévő információs rendszereket hátrányosan érintené.

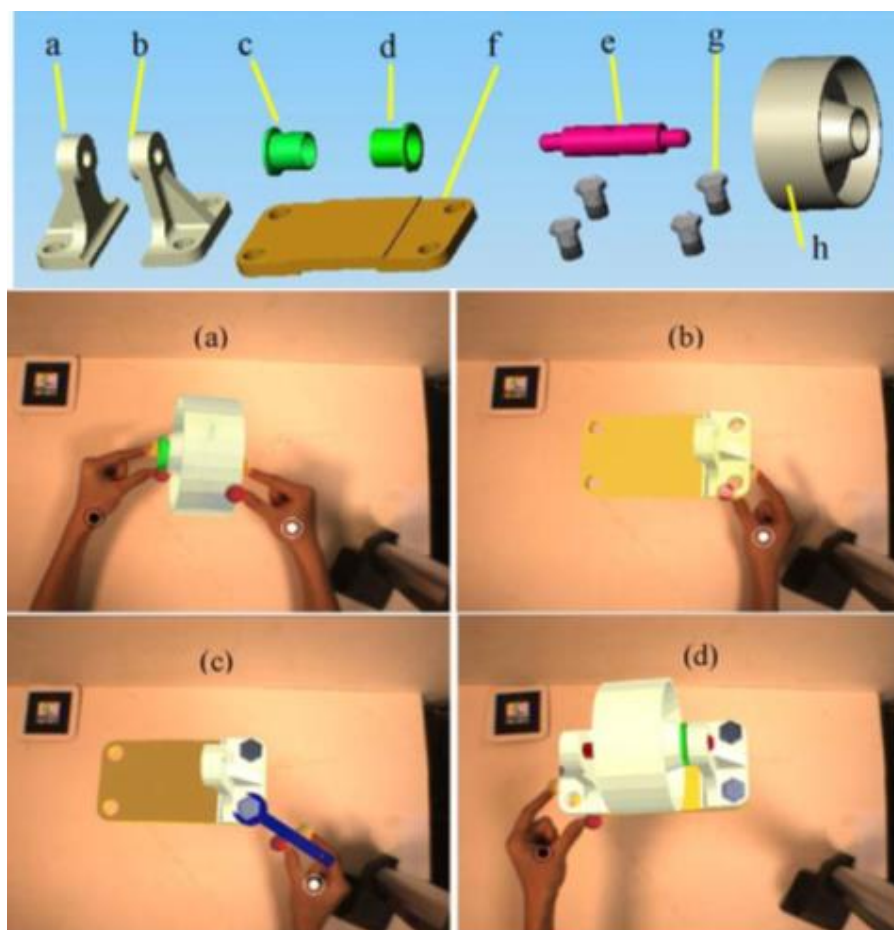
### Kiterjesztett valóság

A kiterjesztett valóság (angolul: augmented reality – AR) a valós környezethez valós időben megfelelően pozicionált virtuális információkat tud feltüntetni [83], így egyszerre lehet a valós teret és a mesterségesen létrehozott egyéb modelleket látni (18. ábra). A kiterjesztett valóságot elsősorban valamilyen mobil platform (tablet, okostelefon) vagy egy fejre illeszthető kijelző (például

Microsoft HoloLens [84]) segítségével lehet alkalmazni. A készülék kameráján keresztül a kiterjesztett valóság szoftvere felismer különböző előre definiált mintákat, ami alapján a rendszer képelemzés segítségével orientálódni tud. Ezen kívül a még hatásosabb kiterjesztett valóság eléréséhez a technológia fel tudja használni a készülék különböző egyéb szenzorjait, úgymint a gyorsulásérzékelő szenzor, GPS, satöbbi. A minta felismerése után a rendszer a képernyőn valamilyen előre meghatározott, akár valós időben változó információt közöl a felhasználóval [85].



18. ábra Kiterjesztett valóság alkalmazása [85]



19. ábra Kiterjesztett valósággal támogatott összeszerelési művelet [87]

Ipari vonatkozásban a kiterjesztett valóságnak számos hasznosítási lehetősége van. Az AR a termék tervezése és kivitelezése között szoros kötetelket tud kialakítani, mivel a tervező a termék legyártása nélkül is el tudja helyezni a [86].



A kiterjesztett valóság ideális oktatási tevékenységre. Ezek az információk legtöbbször magyarázatok (például alapanyagok beazonosítása) vagy valamilyen utasítások, például a következő összeszerelő lépés bemutatása (19. ábra) [87]. A felhasználó háromdimenzióban látja ezeket a tárgyakat, megjelenítésükkel térbeli gondolkozásra van kényszerítve. A technológiával magasabb a tanulási motiváció, az oktatással mélyebb tudás érhető el [88].

Továbbá a technológia kitűnően alkalmas karbantartó, illetve javító tevékenységek ellátására [89]. A karbantartást vagy javítást végző személy különösebb előzetes képzettség nélkül képes magas szaktudást igénylő feladat teljesítésére, hiszen a kiterjesztett valóságnak köszönhetően konkrét műveleti utasításokat kap a teendőkről (20. ábra). Az AR-hez tartozó szoftver adatbázisából a szükséges animáció könnyen előhívható és alkalmazható [90] [91].



20. ábra Kiterjesztett valóság alkalmazás karbantartó művelethez [90]

Ezen kívül a kiterjesztett valóság a nagyobb hasznosítás érdekében más technológiákkal is összekapcsolható (például: IoT) [92] (21. ábra).



21. ábra Kiterjesztett valóság és dolgok internete együttes használata [92]

A technológia népszerűségét mutatja, hogy számos neves ipari, azon belül is repülőgépgyártással foglalkozó cég végzett, illetve végez további fejlesztéseket a jövőben a kiterjesztett valóság témakörében [93][94][95]. A Boeing repülőgépgyártó vállalat az Iowa Állami Egyetemmel közösen fejlesztett kiterjesztett valóság szoftvere [96] a gyakorlati tesztek alapján egy összeszerelő művelet minőségét és a gyorsaságát is növelni tudta. Az Airbus repülőgépgyártó vállalat által

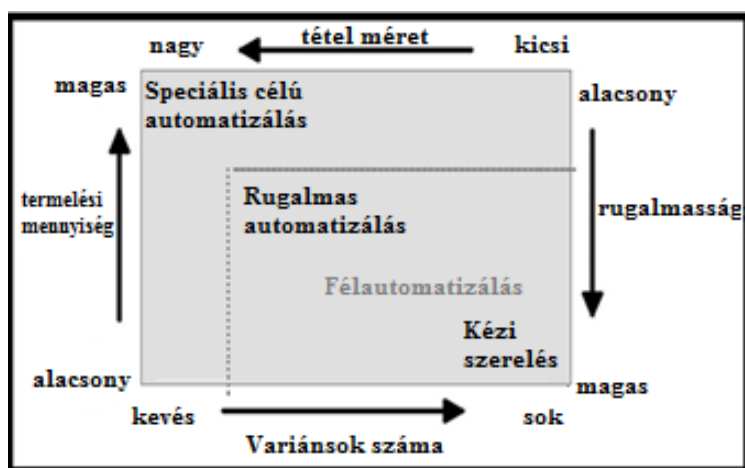
használt kiterjesztett valóság alkalmazás (Mixed Reality Application – MiRA [97]) a gyártásból származó hibákat képes kiszűrni (22. ábra). A technológia használatával bizonyos sérült, rosszul elhelyezett vagy hiányzó alkatrészek felismerésének valószínűségét sikerült nagy mérték növelni.



22. ábra Az Airbus által használt kiterjesztett valóság alkalmazás [97]

### Kooperatív robotok

Az iparban különböző speciális munkákat elvégzését automatizálják, a feladat végrehajtásához ipari robotokat használnak. Ezeknek a robotoknak az előnye a költségek csökkentésén kívül a feladatok automatizálásával elérhető gyártási teljesítménynövekedés, a versenyképesség erősítése [98]. Különböző tanulmányok [99] azonban rávilágítanak, hogy egyes munkákat (elsősorban a késztermék összeszerelési feladatok) sok esetben nem lehet, vagy nem érdemes teljesen automatizálni, robottal végeztetni. A legáltalánosabb módszer annak eldöntésére, hogy egy feladatot érdemes-e automatizálni az, hogy megnézzük a gyártási volument és a termékfajta számát. Hagyományosan a nagy darabszámú, kis termékválasztékkal rendelkező gyártáshoz használnak automatizált, robotizált eljárásokat (23. ábra). A gyártáshoz kapcsolódó rugalmasság ekkor azonban csökken, a kapacitások az előre definiált termékválasztékhoz igazodnak.



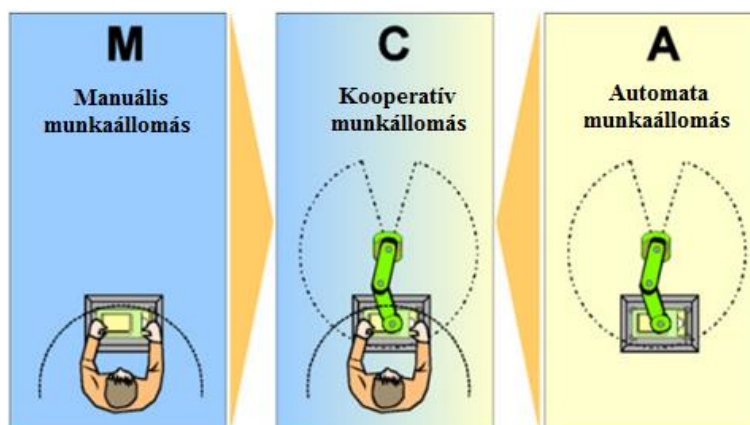
23. ábra Automatizálhatósági elvek a különböző változók függvényében [100]

A jövőben a széles vevői igények kielégítése miatt egyre nagyobb jelentősége lesz a gyártási rugalmasságnak [101]. Az Ipar 4.0 irányelvei keretében az ipari robotok nem feltétlenül csak a nagy gyártási volumennel és kis termékválasztékkal rendelkező gyártásnál használhatók. A

negyedik ipari forradalom értelmezése szerint a robotok a jövőben az emberi munkát nem helyettesíteni, hanem kiegészíteni fogják. Ezek az úgynevezett kooperatív robotok vagy „kobotok” (angolul: cooperative robots - cobots) az ember közvetlen kollégájának tekinthetők, átvéve az embertől a munka repetitív, megterhelő vagy veszélyes részét [102] [103] [104]. Ennek eredményeképpen ötvözni lehet az emberi munkavégzés rugalmasságát, problémamegoldó képességét és a robotok megbízható működését. Az új irányelvvel az ipari robotok kikerülnek az eddigi elzárt, többnyire rácsokkal körülvett biztonsági területükről és beépülnek az emberi munkavégzésbe (24. ábra), létrehozva így egy kooperatív munkaállomást (25. ábra) [105].



24. ábra Hagyományos és kooperatív robot környezet [105]



25. ábra Manuális és automata munkaállomás kombinációja [106]

A kobotok az IoT-vel összhangban különböző szenzorokkal folyamatosan monitorozzák a környezetet, figyelnek az emberre, a többi gépre, az anyagokra, illetve egyéb folyamatparaméterekre.

Mivel a munkacellában a fizikai korlátok lebomlottak, fokozottan kell figyelni az ember és a robot együttes munkavégzése során felmerülő veszélyforrásokra. A Fraunhofer IPA társaság három szintben határozta meg [107] a betartandó biztonsági előírásokat (26. ábra). A legelső szinten a rendszernek biztonságra vonatkozó vezérlési funkciókat kell tartalmaznia, amikkel csökkenteni tudja a berendezés sebességét, a munkavégzési erőt és a teljesítményt. A második szint az aktív biztonság szintje. Egy kobotnak folyamatosan monitoroznia kell a cellában dolgozó felhasználó helyzetét, mozgását [108], és egy esetleges összeütközést meg kell előznie. A legfelső, passzív szint pedig a már bekövetkezett összeütközés miatt létrejövő sérülések, károk csökkentését jelenti.





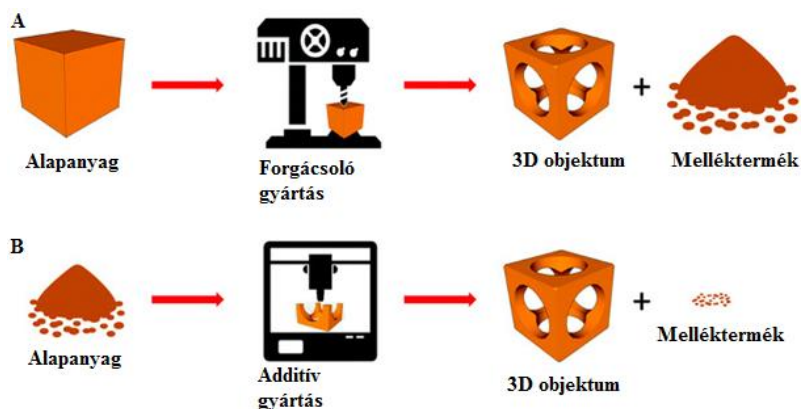
26. ábra Kooperatív robotokat érintő biztonsági szintek [107]

A kooperatív robotok felhasználási környezete nagyon széles körű, minden olyan helyen alkalmazhatók, ahol manuális gyártási művelet zajlik. Így a repülőgépgyártásra is kiválóan alkalmasak. Az Airbus [109] és a Boeing [110] (27. ábra) is használ a különböző gyártási folyamataikhoz kooperatív robotokat, amik segítenek a termék megfelelő minőségének és a magasabb gyártási teljesítmény elérésében.



27. ábra A Boeing által használt kooperatív robot [110]

### Additív gyártás

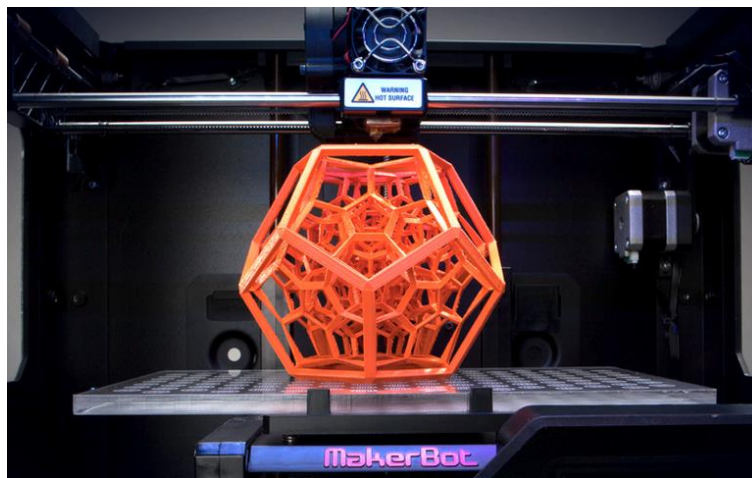


28. ábra Forgácsoló (A) és additív gyártás (B) elvi összehasonlítása [115]



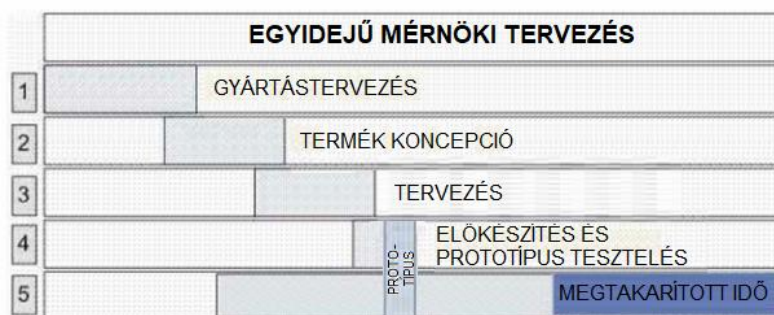
Az additív gyártás (egyre elterjedtebb nevén 3D nyomtatás [111]) alatt azokat a technikákat értjük, melyek úgy állítanak elő digitális modellekből valós fizikai testeket, hogy a késztermékhez az alapanyagot rétegenként viszik fel egymásra [112]. Tehát az additív technológiák a hagyományos gyártó technológiáktól eltérően nem az anyag egy részének eltávolításával (forgácsolás) vagy formájának módosításával (alakítás) készítik el a terméket, hanem a késztermék az alapjaitól épül fel rétegről rétegre (28. ábra) [113]. Az eljárással elkészíthető anyagok típusa nagyon változatos, additív gyártással lehet kerámia, polimer vagy akár fém termékeket is elkészíteni [114].

Az eljárás egyik legfontosabb előnye a magas fokú rugalmasság. A számítógépes vezérlő egy digitális modelleből építi fel annak fizikális megfelelőjét. Ennek a digitális modellnek a jellemzői és paraméterei további költségek és átállási idő nélkül dinamikusan változtathatók, hiszen a technológia nem igényel a termékhez illeszkedő szerszámot. Az additív gyártással akár egészen bonyolult alakzatokból álló testek legyártása is viszonylag könnyen kivitelezhető (29. ábra).



29. ábra Additív gyártással elkészíthető bonyolult modell [116]

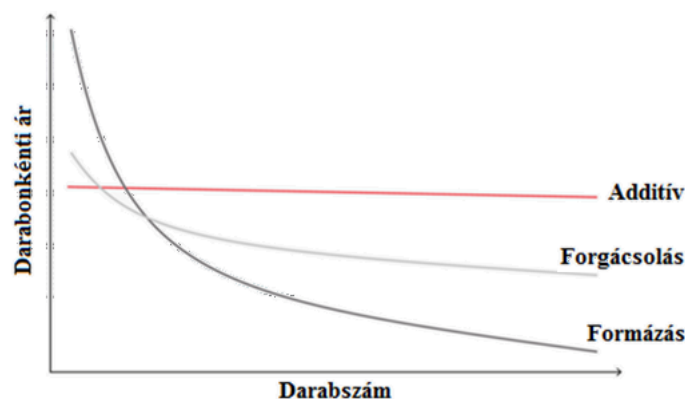
A technológia egy termék életciklusának már a korai, tervezési fázisában is alkalmazható, gyorsan elkészíthető vele egy prototípus, így a fejlesztési idő jelentősen csökkenthető (30. ábra) [114]. Ezen kívül további előnyként megemlíthető, hogy a gyártás során csak elhanyagolható mennyiségű hulladék termelődik [111].



30. ábra Az egyidejű mérnöki tervezés menete [114]

A prototípus gyártásán kívül a legfejlettebb 3D nyomtatók alkalmasak szerszámkészítésre, terméktesztelésre és ipari termelésre is [117] [118]. A technológiához tartozó gyártási költségek csökkenése és a termelékenység növekedése miatt egyre több cég számára bizonyos esetekben valós alternatíva lehet a 3D nyomtatás [119] [120]. Ezek első sorban az Ipar 4.0-hoz köthető

módon a kis darabszámú, változó termékekből való megrendelések, esetleg egyedi gyártás, hiszen az additív gyártás egységnyi költsége nem függ a darabszámtól (31. ábra).



31. ábra A formázás, forgácsolás és additív technológia darabonkénti ár összehasonlításában [121]

A General Electric 2016-tól használja a technológiát a repülőgépekhez gyártott motorjaik egyik szenzorházának elkészítéséhez. Bill Millhaem, a GE Aviation GE90/GE9X program vezérigazgatója szerint: „az additív gyártás a GE mérnökeinek lehetővé teszi, hogy gyors prototípusgyártással gyorsan megváltoztassák a geometriát és legyártsák a terméket, a T25 érzékelő házában hagyományos ciklusidejéhez képest hónapokat lehet megtakarítani anélkül, hogy ez befolyásolná a szenzor érzékelő képességeit.” [122]

### Kiberbiztonság

Az Ipar 4.0 IoT okos gyártási eszközei, illetve az informatikai rendszerintegráció hatására egyre több fontos gyártási adat áll rendelkezésre a szervezetek számítástechnikai rendszereiben. Ennek a nagy adatmennyiségnek a hatására jelentősen nő az ipari szereplők kiber fenyegetettsége. Az Ipari 4.0 eszközök elterjedésének egyik kulcsa az lehet, hogy környezetükben sikerül-e megfelelő kiberbiztonságot megteremteni [123].

„Habár az Ipar 4.0 a gyártásban és az ellátási lánc folyamataiban fokozza a digitális lehetőségeket, valamint az összekapcsolt eszközök forradalmi változást hoznak, az új szemlélet új kiber kockázatokat is hoz magával, amire az ipar alig van felkészülve.” [124] Egy 2013-ben megjelent, több mint 700 résztvevővel készített kutatás [125] szerint a megkérdezettek majdnem 20%-ának a cégénél a számítógépes hálózatot érte valamilyen fajta fertőzés.




A nagy mértékű digitalizációval egyre inkább valós fenyegetettséggé válik a kiber-kémkedés. Az intelligens és összeköttetésben lévő üzleti folyamatok több informatikai réssel járnak, amit rosszindulatú hackerek kihasználhatnak és eltulajdoníthatnak fontos információkat és a szellemi tulajdont. Ez nemcsak az eladásokra gyakorolhat negatív hatást, hanem csorbíthatja a cégről kialakított általános képet, és a know-how elvesztésével csökken a vállalat versenyképessége [17] [126].

További ilyen kiberfenyegetettség a szolgáltatásmegtagadással járó támadás (angolul Denial-of-Service - DoS). A DoS-nek több fajtája létezik, mint például a felesleges hálózati forgalom, az áramellátó kimerítése vagy a jelek zavarása [127]. Ezek a módszerek a kommunikáció megzavarásával vagy az erőforrások elpazarolásával arra törekednek, hogy bizonyos informatikai szolgáltatásokat ne lehessen elérni. Például az IoT eszközök külső eszköz által való kommunikáció miatt nem tudja a valós igényeket kiszolgálni [128]. Az Ipar 4.0 kereteiben létrejövő rendszerintegráció lévén

az ellátási láncon lévő vállalatok egyre inkább összeköttetésbe kerülnek, a szereplők hozzáférnek a többiek bizonyos adataihoz, rendszereihez. Emiatt a kibertámadás fenyegetettsége növekszik.

Pereira és társai [126] az Ipar 4.0-val létrejövő biztonsági rések kiküszöbölésére az úgynevezett okos védelem (angolul: smart security) módszert javasolják. Ennek keretei között a reagáló folyamatok helyett megelőző biztonsági előírásokat javasolnak. Szükséges a gyártásban részt vevő összes munkatárs biztonságtudatosságra való oktatása. Kiemelik továbbá, hogy a megfelelő hitelesítési mechanizmusok, kriptográfiai folyamatok és a viselkedéselemzés révén történő hozzáférés ellenőrzése olyan biztonsági mechanizmusok lehetnek, amelyek segíthetnek megakadályozni az ellátási lánc feltörését [126].

A Deloitte vezetési tanácsadó cég tanulmányában [14] azt fogalmazza meg, hogy az Ipar 4.0 kiberbiztonsági stratégiájának biztosnak, ébernek és ellenállónak kell lennie, valamint már a kezdetektől teljesen bele kell építeni a szervezeti és az információs technológiai stratégiába (1. Táblázat). A termelés különböző életciklusain keresztül – kezdve a digitális ellátási hálózattal, az okos gyáron keresztül eljutva egészen az összeköttetésben lévő termékekig – bemutatja, hogy az egyes állomásokhoz milyen műveletek végrehajtása szükséges a megfelelő biztonság eléréséhez, ehhez az alábbi táblázat nyújt támpontot.

Termék életciklus szakasz	Védett, éber, ellenálló besorolás	Tárgykör	Célkitűzés
	Védett, éber, ellenálló	Adatmegosztás	Biztosítja a rendszerek integritását, így privát, védett adatok nem érhetők el
	Védett, éber, ellenálló	Értékesítési folyamat	Fenntartja a bizalmat, ha a folyamatokat nem lehet érvényesíteni
	Éber	Egészség és biztonság	Biztosítja az alkalmazottak és a környezet biztonságát
	Éber, ellenálló	A termelés és a folyamat ellenállósága/hatásossága	Biztosítja a folyamatos gyártást és a kritikus rendszerek helyreállítását
	Éber, ellenálló	Eszközök és proaktív problémamegoldás	Védi a márkát és a szervezet hírnevét
	Védett, ellenálló	A rendszer működőképessége, megbízhatósága és integritása	Támogatja a több fajta értékesítőt és szoftververziót
	Éber, ellenálló	Hatékonyság és költségek elkerülése	Csökkenti a működési költségeket és növeli a rugalmasságot a távoli oldal diagnosztikájával
	Védett	Termékterv	Biztosítja a folyamat megbízhatóságát
	Védett	Termék design	Biztonságos szoftverfejlesztési életciklust alkalmaz, hogy egy működő és biztonságos eszközt gyártson
	Éber	Adatvédelem	Fenntartja az érzékeny adatok biztonságát az adat egész életciklusán
	Ellenálló	Támadás hatásának elhárítása	Az incidensek hatását minimalizálja, miközben gyorsan helyreállítja a műveleteket és a biztonságot

1. táblázat Az Ipar 4.0 kereteiben fejlesztett termék életciklusához tartozó biztonsági elvárások [14]

Az Ipar 4.0 megjelenésétől kezdődően az ipari és a tudományos élet egyik legnépszerűbb témája. Szakértők szerint a negyedik ipari forradalom nagyban segíthet a vállalatok versenyképességének fenntartásában, erősítésében. Ezt felismerve, számos neves repülőgépipari szereplő

is készített, illetve készít fejlesztéseket az Ipar 4.0-val kapcsolatban. Ebben a tanulmányban körüljártuk a téma kialakulásának körülményeit, az eddig megjelent forrásanyagból egy általános jellemzést adtunk a technológia filozófiájáról. Ezt követően repülőgépipari példákkal kiegészítve sorra vettük az Ipar 4.0 alappilléreit, úgymint az Dolgok Internetét, a szimulációt, a Big Data analízist, a felhőalapú rendszereket, a rendszerintegrációt, a kiterjesztett valóságot, a kooperatív robotokat, az additív gyártást és a kiberbiztonságot. E publikáció célja az volt, hogy a technológiáról és az alappilléreiről egy átfogó képet kapjunk. Ezen felül a tanulmány a szerző további tudományos kutatásaihoz is támpontot nyújt.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] S. Dais, „Industrie 4.0 – Anstoß, Vision, Vorgehen”, in *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014, o. 625–634.
- [2] D. Spath, O. Ganschar, S. Gerlach, M. Hämmerle, T. Krause, és S. Schlund, „Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0”, köt. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.
- [3] C. Rhodes, „International comparisons of manufacturing”, máj. 2018.
- [4] „NationMaster: Industry - Manufacturing output: Countries Compared”
- [5] A. Selko, „Top 10 Manufacturing Countries in 2020”. 09-2015.
- [6] S. Ramaswami, „The Importance of Industry 4.0 in Manufacturing”. 20-okt-2016.
- [7] United Nations Industrial Development Organization, *Industrial Development Report 2016, The Role of Technology and Innovation in Inclusive and Sustainable Industrial Development*. UNIDO ID/447 Sales Number: E.15.II.B.47.
- [8] R. Drath és A. Horch, „Industrie 4.0: Hit or Hype?”, *IEEE Ind. Electron. Mag.*, köt. 8, sz. 2, o. 56–58, 2014.
- [9] „PricewaterhouseCoopers: Industry 4.0: Building the digital enterprise”
- [10] Robin S. Lineberger és Aijaz Hussain, „On a solid profitable growth path, 2018 Global aerospace and defense industry outlook”. Deloitte.
- [11] „Factories of the Future (FoF) - Research & Innovation - Key Enabling Technologies - European Commission”. [Online]. Elérhető: [http://ec.europa.eu/research/industrial\\_technologies/factories-of-the-future\\_en.html](http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/factories-of-the-future_en.html). [Elérés: 29-máj-2018].
- [12] D. Lukač, „The fourth ICT-based industrial revolution »Industry 4.0« #x2014; HMI and the case of CAE/CAD innovation with EPLAN P8”, in *2015 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)*, 2015, o. 835–838.
- [13] K. Witkowski, „Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management”, *Procedia Eng.*, köt. 182, o. 763–769, 2017.
- [14] „Deloitte: Industry 4.0, Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies”
- [15] H. Kagermann, W.-D. Lukas, és W. Wahlster, „Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution”, köt. VDI Nachrichten, Berlin, sz. 13, ápr. 2011.
- [16] B. Mrugalska és M. K. Wyrwicka, „Towards Lean Production in Industry 4.0”, *Procedia Eng.*, köt. 182, o. 466–473, 2017.
- [17] H. Kagermann, W. Wahlster, és J. Helbig, „Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, Final report of the Industrie 4.0 Working Group”. Forschungsunion, National Academy of Science and Engineering, prilis-2013.
- [18] M. Hermann, T. Pentek, és B. Otto, *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. 2015.
- [19] L. Thames és D. Schaefer, „Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0”, *Procedia CIRP*, köt. 52, o. 12–17, 2016.
- [20] H. Kagermann, „Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0”, 2015, o. 23–45.
- [21] P. Gelbert és *mtsai.*, „Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries”, ápr. 2015.
- [22] „About | Design for Industry 4.0”. [Online]. Elérhető: <https://i4.ubc.ca/about/>. [Elérés: 29-máj-2018].
- [23] D. Giusto, I. Iera, G. Morabito, és L. Atzori, *The Internet of Things*. New York: Springer-Verlag, 2010.
- [24] D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini, és I. Chlamtac, „Internet of things: Vision, applications and research challenges”, *Ad Hoc Netw.*, köt. 10, sz. 7, o. 1497–1516, szept. 2012.
- [25] R. Prakash More és A. Hiwale, „A Reconfigurable Smart Sensor Interface for Industrial WSN in IoT Environment”, köt. 5, máj. 2016.
- [26] L. Atzori, A. Iera, és G. Morabito, „The Internet of Things: A survey”, *Comput. Netw.*, köt. 54, sz. 15, o. 2787–2805, okt. 2010.
- [27] L. Da Xu, W. He, és S. Li, „Internet of Things in Industries: A Survey”, *IEEE Trans. Ind. Inform.*, köt. 10, o. 2233–2243, 2014.
- [28] M. Mital, V. Chang, P. Choudhary, A. Papa, és A. K. Pani, „Adoption of Internet of Things in India: A test of competing models using a structured equation modeling approach”, *Technol. Forecast. Soc. Change*, márc. 2017.
- [29] Y. Ashibani és Q. H. Mahmoud, „Cyber physical systems security: Analysis, challenges and solutions”, *Comput. Secur.*, köt. 68, o. 81–97, júl. 2017.
- [30] M. Chan, D. Estève, C. Escriba, és E. Campo, „A review of smart homes—Present state and future challenges”, *Comput. Methods Programs Biomed.*, köt. 91, sz. 1, o. 55–81, júl. 2008.

- [31] T. Nam és T. Pardo, „Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions”, in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2011, o. 282–291.
- [32] M. Chan, D. Estève, J.-Y. Fourniols, C. Escriba, és E. Campo, „Smart wearable systems: Current status and future challenges”, *Artif. Intell. Med.*, köt. 56, sz. 3, o. 137–156, 2012.
- [33] „Wearable Devices Magazine - The Authority in Wearable Technology”, *Wearable Devices*. [Online]. Elérhető: <http://www.wearabledevices.com/>
- [34] All products require an annual contract Prices do not include sales tax, „IoT: number of connected devices worldwide 2012-2025”, *Statista*. [Online]. Elérhető: <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>. [Elérés: 30-máj-2018].
- [35] Guihai Chen, „Internet of Things towards Ubiquitous and Mobile Computing”. 2010.
- [36] E. A. Lee és S. A. Seshia, *Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach*, Second Edition. MIT Pres., 2017.
- [37] R. Tan, G. Xing, X. Liu, J. Yao, és Z. Yuan, „Adaptive calibration for fusion-based cyber-physical systems”, *ACM Trans. Embed. Comput. Syst. TECS*, köt. 11, 2012.
- [38] „What is the difference between Internet of Things (IoTs) and cyber-physical systems (CPS)? - Quora”. [Online]. Elérhető: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-Internet-of-Things-IoTs-and-cyber-physical-systems-CPS>. [Elérés: 29-máj-2018].
- [39] „Internet of Things and Cyber-Physical Systems”, *SINTEF*. [Online]. Elérhető: <http://www.sintef.no/en/digital/communication-systems/internet-of-things-and-cyber-physical-systems/>. [Elérés: 29-máj-2018].
- [40] K. M. Alam és A. El Saddik, „C2PS: A Digital Twin Architecture Reference Model for the Cloud-based Cyber-Physical Systems”, *IEEE Access*, köt. PP, o. 1–1, 2017.
- [41] J. Lee, B. Bagheri, és H.-A. Kao, „A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems”, *Manuf. Lett.*, köt. 3, o. 18–23, 2015.
- [42] D. Jia, K. Lu, J. Wang, xiang zhang, és X. Shen, „A Survey on Platoon-Based Vehicular Cyber-Physical Systems”, *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, köt. 18, márc. 2015.
- [43] M. Chen, J. Wan, és F. Li, „Machine-to-Machine Communications: Architectures, Standards and Applications”, *KSII Trans. Internet Inf. Syst.*, köt. 6, 2012.
- [44] J. Lee, B. Bagheri, és H.-A. Kao, „Recent Advances and Trends of Cyber-Physical Systems and Big Data Analytics in Industrial Informatics”, 2014.
- [45] Don Winter, „Cyber Physical Systems – An Aerospace Industry Perspective”. Boeing - VP- Engineering & Information Technology Boeing Phantom Works, 2008.
- [46] Boeing Edge Information Services, „Real-Time Operations: Airplane Health Management”. Boeing Commercial Airplanes, 2012.
- [47] K. Sampigethaya, M. Li, L. Huang, és R. Poovendran, „AMOEBa: Robust Location Privacy Scheme for VANET”, *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, köt. 25, sz. 8, o. 1569–1589, okt. 2007.
- [48] S. A. Lintelman, K. Sampigethaya, M. Li, R. Poovendran, és R. V. Robinson, „High Assurance Aerospace CPS & Implications for the Automotive Industry”, júl. 2018.
- [49] VCloudNews, „Every Day Big Data Statistics – 2.5 Quintillion Bytes of Data Created Daily”
- [50] G. Bello-Orgaz, J. J. Jung, és D. Camacho, „Social big data: Recent achievements and new challenges”, *Inf. Fusion*, köt. 28, o. 45–59, márc. 2016.
- [51] R. Griffin, „Using big data to combat enterprise fraud”, *Financ. Exec.*, köt. 28, o. 44–47, 2012.
- [52] ATKearney, „Big Data and the Creative Destruction of Today’s Business Model”, 2013
- [53] „Emerging Technologies: IoT, Big Data, and CPS with Sensory Systems”. [Online]. Elérhető: <https://www.hindawi.com/journals/js/si/345042/cfp/>
- [54] D. Laney, „3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity, and Variety”. META Group, 2001.
- [55] M. Chen, S. Mao, és Y. Liu, „Big Data: A Survey”, *Mob. Netw. Appl.*, köt. 19, sz. 2, o. 171–209, ápr. 2014.
- [56] M. Hilbert, „Big Data for Development: A Review of Promises and Challenges”, *Dev. Policy Rev.*, köt. 34, sz. 1, o. 135–174, 2016.
- [57] Horváth C., „A big data körül még mindig sok a zavar”, *Bitport*. [Online]. Elérhető: <https://bitport.hu/a-big-data-koeruel-meg-mindig-sok-zavar-van/>
- [58] „What is Hadoop?” [Online]. Elérhető: [https://www.sas.com/en\\_us/insights/big-data/hadoop.html](https://www.sas.com/en_us/insights/big-data/hadoop.html)
- [59] J. Manyika és mtsai., „Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity”, *McKinsey Glob. Inst.*, 2011.
- [60] J. Gantz és D. Reinsel, „THE DIGITAL UNIVERSE IN 2020: Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East”. EMC Corporation, 2012.
- [61] P. Mell és T. Grance, „The NIST Definition of Cloud Computing”. NIST Special Publication 800 - 145, 2011.
- [62] P. Sasvári, Z. Nagymáté, és B. Kovács, „Felhőalapú számítástechnika a magyar vállalkozások körében”
- [63] „Cloud computing from end user point of view Types of solutions in a view of delivered services: IaaS, PaaS and SaaS | IT Bundle”
- [64] D. Wu, D. W. Rosen, L. Wang, és D. Schaefer, „Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation”, *Comput-Aided Des.*, köt. 59, o. 1–14, 2015.

- [65] P. Sasvari és Z. Nagymate, „The empirical analysis of cloud computing services among the Hungarian enterprises”, in *Web-Based Services: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, 2015, o. 1162–1190.
- [66] W. Kim, „Cloud Computing: Today and Tomorrow”, *J. Object Technol.*, köt. 8, o. 65–72, 2009.
- [67] DXC.technology, „Cloud computing in Aerospace and defense ([http://www.dxc.technology/aerospace\\_defense/offers/16309/117525-cloud\\_computing\\_in\\_aerospace\\_and\\_defense](http://www.dxc.technology/aerospace_defense/offers/16309/117525-cloud_computing_in_aerospace_and_defense))”. 2016.
- [68] X. Xu, „From cloud computing to cloud manufacturing”, *Robot. Comput-Integr. Manuf.*, köt. 28, sz. 1, o. 75–86, 2012.
- [69] PLEX, the manufacturing cloud, „Ten Ways Cloud Computing Is Revolutionizing Aerospace and Defense, 855.534.8012, ([https://advancedmanufacturing.org/wp-content/uploads/2016/04/Ten-Ways-Aerospace\\_WP.pdf](https://advancedmanufacturing.org/wp-content/uploads/2016/04/Ten-Ways-Aerospace_WP.pdf))”. 2016.
- [70] X. V. Wang, L. Wang, A. Mohammed, és M. Givehchi, „Ubiquitous manufacturing system based on Cloud: A robotics application”, *Robot. Comput-Integr. Manuf.*, köt. 45, o. 116–125, jún. 2017.
- [71] L. Gehrke és mtsai., „A Discussion of Qualifications and Skills in the Factory of the Future: A German and American Perspective”, 2015.
- [72] Jürgen Bischoff és mtsai., „Erschließen der Potenziale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand”. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2015.
- [73] Bundesverband Informationswirtschaft Telekommunikation und neue Medien e. V., Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., és Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., „Umsetzungsstrategie Industrie 4.0, Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0”
- [74] VDI/VDE-GMA és Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., „Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)”. prilis-2015.
- [75] S. Wang, J. Wan, D. Li, és C. Zhang, „Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook”, *Int. J. Distrib. Sens. Netw.*, köt. 12, sz. 1, o. 3159805, 2016.
- [76] „The 4th Industrial revolution”. Triathlon Consulting Group, 2016.
- [77] „Wertschnöpfungsnetzwerke und Industrie 4.0”. [Online]. Elérhető: [http://winfwiki.wi-fom.de/index.php/Wertsch%C3%B6pfungnetzwerke\\_und\\_Industrie\\_4.0#Wertsch.C3.B6pfungnetzwerke](http://winfwiki.wi-fom.de/index.php/Wertsch%C3%B6pfungnetzwerke_und_Industrie_4.0#Wertsch.C3.B6pfungnetzwerke).
- [78] T. Stock és G. Seliger, „Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0”, *Procedia CIRP*, köt. 40, o. 536–541, 2016.
- [79] „What is the difference between horizontal integration and vertical integration? | Investopedia”. [Online]. Elérhető: <https://www.investopedia.com/ask/answers/051315/what-difference-between-horizontal-integration-and-vertical-integration.asp>.
- [80] „Horizontal Integration”. [Online]. Elérhető: <http://www.quickmba.com/strategy/horizontal-integration/>.
- [81] H. Kagermann, W. Wahlster, és J. Helbig, „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0”. Forschungunion, Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, prilis-2013.
- [82] „Dassault Systèmes and BoostAerospace Announce “AirDesign” Collaboration Platform”. [Online]. Elérhető: <https://www.3ds.com/press-releases/single/dassault-systemes-and-boostaerospace-announce-airdesign-collaboration-platform/>
- [83] J. Paulo Lima és mtsai., „Markerless tracking system for augmented reality in the automotive industry”, *Expert Syst. Appl.*, köt. 82, o. 100–114, okt. 2017.
- [84] „Microsoft HoloLens”. [Online]. Elérhető: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens?SilentAuth=1>.
- [85] J. Y. Lee és G. Rhee, „Context-aware 3D visualization and collaboration services for ubiquitous cars using augmented reality”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, köt. 37, sz. 5–6, o. 431–442, máj. 2008.
- [86] G. Reinhart és C. Patron, „Integrating Augmented Reality in the Assembly Domain - Fundamentals, Benefits and Applications”, *CIRP Ann.*, köt. 52, sz. 1, o. 5–8, 2003.
- [87] „Augmented assembly technologies based on 3D bare-hand interaction - ScienceDirect”. [Online]. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850611000023>. [Elérés: 04-márc-2018].
- [88] Á. Di Serio, M. B. Ibáñez, és C. D. Kloos, „Impact of an augmented reality system on students’ motivation for a visual art course”, *Comput. Educ.*, köt. 68, o. 586–596, okt. 2013.
- [89] L. Juhász és L. Pokorádi, „Kiterjesztett valóság a modern karbantartásban”, *Repüléstudományi Közlemények*, köt. XXX, sz. 2, o. 37–46, 2018.
- [90] „Inglobe Technologies | Smart manufacturing using AR in the era of Industry 4.0”. [Online]. Elérhető: <https://www.inglobetechnologies.com/smart-manufacturing-ar-industry-4-0/>. [Elérés: 04-márc-2018].
- [91] B. Bienenzler, A. Schletz, és A.-K. Gahle, „Industrie 4.0 ready services technologietrends 2020”. Fraunhofer IAO, 2014.
- [92] „Augmented Reality and the Internet of Things boost human performance”, *AREA*, 20-márc-2017. [Online]. Elérhető: <http://thearea.org/augmented-reality-and-the-internet-of-things-boost-human-performance/>
- [93] „Bosch Automotive Service Solutions |”. [Online]. Elérhető: <https://www.boschautomotiveservicesolutions.com/>. [Elérés: 04-márc-2018].
- [94] D. Lockwood, „LKDF Interact: Implementation at the Volvo Selam Vocational Training Centre, An Evaluation report”. the Naledi3d Factory (Pty) Ltd, 2015.
- [95] „Augmented Reality in the Car Industry | LinkedIn”. [Online]. Elérhető: <https://www.linkedin.com/pulse/augmented-reality-car-industry-melanie-may/>
- [96] T. Richardson és mtsai., „Fusing Self-Reported and Sensor Data from Mixed-Reality Training”, *Ind. Manuf. Syst. Eng. Conf. Proc. Posters*, jan. 2014.
- [97] M. A. Frigo, E. C. C. da Silva, és G. F. Barbosa, „Augmented Reality in Aerospace Manufacturing: A Review”, *J. Ind. Intell. Inf.*, 2016.



- [98] J. Frohm, V. Lindström, M. Winroth, és J. Stahre, „Levels of Automation in Manufacturing”, *Ergon. - Int. J. Ergon. Hum. Factors*, köt. 30, o. 181–207, 2008.
- [99] J. Darijan, „Tools and machines for automatic assembly, a case study for finding automated assembly solutions”. Department of Product and Production Development, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2015.
- [100] J. Heilala és P. Voho, „Modular reconfigurable flexible final assembly systems”, *Assem. Autom.*, köt. 21, o. 20–30, márc. 2001.
- [101] G. Chryssolouris, N. Papakostas, és D. Mavrikios, „A perspective on manufacturing strategy: Produce more with less”, *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, köt. 1, sz. 1, o. 45–52, 2008.
- [102] „GyártásTrend - Szintet lépett az ipar 4.0”, *GyártásTrend*. [Online]. Elérhető: [http://gyartastrend.hu/muveltmernek/cikk/szintet\\_lepett\\_az\\_ipar\\_4\\_0](http://gyartastrend.hu/muveltmernek/cikk/szintet_lepett_az_ipar_4_0). [Elérés: 29-máj-2018].
- [103] M. Morioka és S. Sakakibara, „A new cell production assembly system with human–robot cooperation”, *CIRP Ann.*, köt. 59, sz. 1, o. 9–12, 2010.
- [104] B. Matthias, H. Ding, és M. Schipper, „Optimized Task Distribution for Industrial Assembly in Mixed Human-Robot Environments – Case Study on IO Module Assembly”, in *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, 2014, köt. 2014.
- [105] W. Wahlster, „Industrie 4.0: Das Internet der Dinge kommt in die Fabriken”, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH Saarbrücken/Kaiserslautern/Bremen/Berlin/Osnabrück.
- [106] J. Krüger, R. Bernhardt, D. Surdilovic, és G. Spur, „Intelligent Assist Systems for Flexible Assembly”, *CIRP Ann.*, köt. 55, sz. 1, o. 29–32, 2006.
- [107] S. Oberer-Treitz, „New safety paradigm in human-robot-cooperation”, *Eur. Robot. Forum 2012 Odense*, köt. Workshop „Safe Human Robot Interaction with Industrial and Service Robots”.
- [108] N. Pedrocchi, F. Vicentini, M. Malosio, és L. Molinari Tosatti, „Safe Human-Robot Cooperation in an Industrial Environment”, *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, köt. 10, o. 1–13, 2012.
- [109] „Airbus invests in robotics as part of its commitment to innovation”, *Airbus*. [Online]. Elérhető: <http://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2014/02/airbus-invests-in-robotics-as-part-of-its-commitment-to-innovation.html>. [Elérés: 19-júl-2018].
- [110] Dominic Wierzbicki, „Boeing: Co-bots in the Land Down Under”. [Online]. Elérhető: <https://www.boeing.com/features/innovation-quarterly/nov2017/feature-technical-cobots.page>. [Elérés: 19-júl-2018].
- [111] M. Attaran, „The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing”, *Bus. Horiz.*, köt. 60, sz. 5, o. 677–688, szept. 2017.
- [112] C. Balletti, M. Ballarin, és F. Guerra, „3D printing: State of the art and future perspectives”, *J. Cult. Herit.*, márc. 2017.
- [113] I. Gibson, D. Rosen, és B. Stucker, *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, 2. kiad. New York: Springer-Verlag, 2015.
- [114] A. Cseh, B. Dybala, J. Czajka, T. Bedza, M. Frankiewicz, és T. Kurzynowski, „Mechatronika, Modul 9: Gyors prototípusgyártás, Munkafüzet, Jegyzet, Oktatói segédlet, EU-Project Nr. 2005-146319 »MINUS«, EU-Project Nr. DE/08/LLP-LDV/TOI/147110 „MINOS”
- [115] „3D Printing vs CNC Machining: Which is best for prototyping?”, *3Dnatives*, 16-márc-2018
- [116] *3DPrint.com*. [Online]. Elérhető: <https://3dprint.com/wp-content/uploads/2015/07/311.png>.
- [117] FreeDee Printing Solutions, *Additív gyártástechnológiai előadás (Ipar Napjai 2016)*
- [118] „The Advantages of 3D Printing”, *3D Hubs*. [Online]. Elérhető: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/advantages-3d-printing>. [Elérés: 29-máj-2018].
- [119] „3D printers start to build factories of the future”, *The Economist*, 29-jún-2017.
- [120] J. Karin, „The Future of 3D Printing”, *TFOT*, 04-júl-2011
- [121] „Innovation in Creation: Demand Rises While Prices Drop for 3D Printing Machines | ManufacturingTomorrow”. [Online]. Elérhető: <https://manufacturingtomorrow.com/article/2016/02/innovation-in-creation-demand-rises-while-prices-drop-for-3d-printing-machines/7631>. [Elérés: 29-máj-2018].
- [122] Andrew Wheeler, „GE Aviation’s First 3D Printed Engine Component For GE 90 Engine”. [Online]. Elérhető: <https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/9957/GE-Aviations-First-3D-Printed-Engine-Component-For-GE-90-Engine.aspx>. [Elérés: 19-júl-2018].
- [123] M. Y. Santos és mtsai., „A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4.0 strategy”, *Int. J. Inf. Manag.*, köt. 37, sz. 6, o. 750–760, 2017.
- [124] R. W. Chain 24/7 Tyler Lewis, Ramsey Hajj, Robert Carton, Supply, „Industry 4.0 and Cyber Risk: Security in an Age of Connected Production - Supply Chain 24/7 Paper”. [Online]. Elérhető: [https://www.supplychain247.com/paper/industry\\_4\\_0\\_and\\_cyber\\_risk\\_security\\_in\\_an\\_age\\_of\\_connected\\_production](https://www.supplychain247.com/paper/industry_4_0_and_cyber_risk_security_in_an_age_of_connected_production). [Elérés: 29-máj-2018].
- [125] E. M. Luallen, „SANS SCADA and Process Control Security Survey”. A SANS Whitepaper, 2013.
- [126] T. Pereira, L. Barreto, és A. Amaral, „Network and information security challenges within Industry 4.0 paradigm”, *Procedia Manuf.*, köt. 13, o. 1253–1260, 2017.
- [127] S. Likmabam és R. Aasari, „A review on detection and mitigation technique of distributed denial of services attack”, *IJCTA*, köt. 9, sz. 11, o. 5093–5102, 2016.
- [128] S. Sicari, A. Rizzardi, D. Miorandi, és A. Coen-Porisini, „REATO: REActing TO Denial of Service attacks in the Internet of Things”, *Comput. Netw.*, köt. 137, o. 37–48, jún. 2018.

### **OVERVIEW OF THE FEATURES OF THE INDUSTRY 4.0 AND ITS INFLUENCES FOR THE AEROSPACE INDUSTRY**

*We are witnesses of the next industrial revolution, which is caused by the changes and developments in the world over the last decades. The Industry 4.0 and the industrial digitization determine the direction of the industrial innovation for the next decades, specially the aerospace industry which area is always receptive to the innovations. This article is firstly about the circumstances of the fourth industrial revolution and then it gives a comprehensive description of its features. The core of the revolution is the Internet of Things, simulation, Big Data analysis, cloud-based systems, system integration, augmented reality, cooperative robots, additive production and cyber security. The article discusses the properties of these technologies and specially the conditions of its application in the aerospace area.*

**Keywords:** *industry 4.0, Internet of Things, simulation, Big Data analysis, cloud based systems, system integration, augmented reality, cooperative robots, additive production, cyber security.*

---

Juhász László, MSc  
okleveles gépészmérnök  
Óbudai Egyetem  
j.laszlo92@stud.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-0700-5010

Juhász László, MSc  
Mechanical engineer  
Obuda University  
j.laszlo92@stud.uni-obuda.hu  
orcid.org/0000-0002-0700-5010

---



Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3-I-OE-779/41. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.



<http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2018.pdf>



## A REGIONÁLIS REPÜLŐTEREK SZEREPE ÉS FEJLŐDÉSE MAGYARORSZÁGON

*A repülőtéri régiók az elsődleges gazdasági növekedés motorjaivá váltak a XX. század végére. Egyes régiók dinamikus fejlődése mögött jól kialakított regionális fejlesztési stratégia áll, mely egyaránt képes a lokális és a globális közlekedési célok szolgálatára. A fejlesztések megvalósítása során sok esetben megkerülhetetlen azonban a helyi erőforrások fejlesztésbe való bevonása, mely a jövedelemnövelő hatáson át keresletet indukálhat a régióban. A legmodernebb infrastruktúrák üzemeltetése, a helyi munkaerő foglalkoztatása minden politikai erő elsődleges célkitűzései közé tartozik. A légi közlekedés nyújtotta lehetőségek azonban szinte egyedülállók, amelyek az Európai Unióban rejlő lehetőségek fokozatos kihasználását is lehetővé teszik. Olyan kapcsolatok alakulhatnak ki országok, régiók, városok között, amelyek az európai fejlődés és a régiók felzárkózásának meghatározó elemei lehetnek. Azok az országok, melyek jól kiépített regionális repülőterekkel rendelkeznek, előnyben vannak azokkal szemben, melyeknél esetlegesen csupán a főváros közelíthető meg légi úton. Tanulmányom célja annak a bemutatása ez irányú kutatásunk alapján, hogy Magyarország hol tart ezen a téren, a jelenlegi fejlődési trendekből milyen tanulságok vonhatók le a magyar regionális repülőtéri fejlesztésekre befolyással lévő döntéshozók számára.*

**Kulcsszavak:** a vidéki régiók versenyképességének növelése, közös felhasználású (katonai-polgári) repülőterek regionális fejlesztések, regionális repülőterek, területi fejlesztések

### BEVEZETÉS

A földrajzi elterjedtségük miatt a repülőterek döntő többségét a regionális repülőterek alkotják. A nagy és közepes méretű nemzetközi forgalomelosztó (hub) repülőterek számára jelentős nagyságú utas- és áruforgalmat generálnak ennek köszönhetően jól kiegészítik azokat.<sup>1</sup> A regionális repülőterek azon túl, hogy számottevő többlet forgalmat hoznak létre a légiszállítás területén, egyúttal növelik a társadalmi kohéziót és a gazdaság versenyképességét Európa szerte és elősegítik a társadalmi és gazdasági fejlődést is. Európa olyan részein, ahol más közlekedési módok révén nem alakultak ki hagyományos közlekedési útvonalak, megkönnyítik a lakosság és az áruk mobilitását. Számos társadalmi kohéziós és fejlődési folyamatot erősít a regionális repülőterek létrejött hálózata Európában. Támogatják a társadalmi és gazdasági integrációt azáltal, hogy lehetőséget nyújtanak a szabadidős és a munkahelyi utazásokhoz, kulturális vagy sporttevékenységeken való részvételre, megkönnyítik a csökkent mozgásképességű emberek mobilitását, a sérült, balesetet szenvedett emberek gyors szállítását a légi mentő szolgálatok által és az oktatási célú nemzetközi kapcsolatok fejlődését is nagymértékben elősegítik. Regionális repülőterek nélkül mindezek a lehetőségek csak sokkal korlátozottabban tudnának megvalósulni [1]. A regionális repülőterek és a légiközlekedés fejlődése kimagaslóan segíthetik egy adott terület, régió lakosság megtartó erejét, életminőségét. A regionális repülőterek egyúttal fontos részét képezik a nemzetgazdasági infrastruktúrának. A regionális repülőterek hatása a gazdasági tevékenységek széles körére kiterjed, elsősorban az export és az import tevékenységek hatékonyságára és termelékenységére, a befektetők vonzására, a szállítások megbízhatóságának javulására, gyorsaságára, pontosságára. A regionális repülőterek jelenléte lehetővé teszi

<sup>1</sup> A forgalomelosztó (hub and spoke) repülőterek részletesebb meghatározását lásd bővebben [2]

a vállalkozások számára, hogy versenyképesebbé váljanak, és ezzel növeljék egy adott térség gazdasági versenyképességét. Ez a hatás különösen erős azokban a légiközlekedés intenzív ágazatokban (utazások, közlekedés, üzleti élet stb., ahol az idő és a távolság különösen meghatározó tényezők. A regionális repülőterek fontos katalizátorok a regionális gazdasági növekedés növeléséhez, számos ágazat gazdasági teljesítményének növeléséhez, valamint a különféle szolgáltatások, a termékek előállítását és fejlesztését, az idegenforgalom fejlődését növelő befektetések megkönnyítéséhez, amelyek elősegíthetik a hozzájuk kapcsolódó közösségek felvirágoztatását. A regionális repülőterek nemcsak pozitív hatást gyakorolnak a már megalapozott helyi vállalkozásokra, hanem elengedhetetlenek új társaságok vonzásához és a gazdasági tevékenységek diverzifikálásához [3]. A regionális légiforgalom mintegy fele ma még charter járatokból származik, míg a másik felét a regionális és az alacsony költségvetésű légitársaságok teszik ki. Újabban az alacsony költségvetésű légitársaságok legfrissebb expanzióját leginkább a régiók közötti új légi kapcsolatok táplálják. Az elmúlt években több száz új útvonalat és légi kapcsolatot hoztak létre az alacsony költségvetésű légitársaságok. Valóságos új technikai forradalom zajlik a közlekedésben, amelynek fő szereplői a regionális repülőterek.

### REPÜLŐTEREK MAGYARORSZÁGON

A légiközlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény szerint repülőtér az a szárazföldön vagy vízben kijelölt terület (ideértve valamennyi, a területhez tartozó épületet, felszerelést és berendezést), amely egészében vagy részben a légi járművek indulására és érkezésére, valamint felszíni mozgására szolgál. A repülőtér lehet:

- ➔ nyilvános repülőtér: amelyet azonos feltételekkel bárki igénybe vehet:
  - kereskedelmi repülőtér: a rendszeres utas, poggyász, áru és posta továbbítását végző légi forgalom céljaira létesített nyilvános repülőtér;
  - nem kereskedelmi repülőtér: a kereskedelmi repülőtéren kívül minden más nyilvános repülőtér;
- ➔ nem nyilvános repülőtér: amely - meghatározott esetek kivételével - a tulajdonos, illetve az üzemben tartó engedélye alapján vehető igénybe, és amely lehet
  - polgári célú nem nyilvános repülőtér,
  - állami repülések céljára szolgáló repülőtér,
  - közös felhasználású repülőtér<sup>2</sup>.

A kereskedelmi repülőteret a miniszter határozatával nemzetközi repülőtérré nyilváníthatja (nemzetközi kereskedelmi repülőtér). A Kormány rendeletben határozta meg a repülőtér létesítésének, fejlesztésének és megszüntetésének, továbbá a biztonsági, akadálymentes és a zajgátló védőövezet kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének a szabályait. A létesítés, fejlesztés és megszüntetés engedélyezéséhez teljesítendő követelmények alapján a repülőterek a következő osztályokba tartoznak [4]:

- ➔ I. osztály: nemzetközivé nyilvánított kereskedelmi repülőtér;
- ➔ II. osztály: kereskedelmi repülőtér és a III-VI. osztályba nem tartozó nem kereskedelmi repülőtér;

---

<sup>2</sup> Beiktatta a 2016. évi CXXXVI. törvény 8. §. Hatályos: 2016. XII. 31-től.

- III. osztály: olyan polgári célú nem nyilvános repülőtér, amelyről vállalati célú légiközlekedési tevékenység végezhető;
- IV. osztály: olyan polgári célú nem nyilvános repülőtér, amelyről a légi járművel folytatott munkavégzés, valamint sétarepülés és légi jármű szabadidős alkalmazása végezhető, és amely motor vagy hajtómű nélküli légi járműveket mozgásszám korlátozás nélkül, motoros légi járműveket a zajgátló védőövezet kijelöléséről rendelkező határozatban meghatározott maximális műveletszámig jogosult kiszolgálni;
- V. osztály: olyan polgári célú nem nyilvános, futópályával vagy helikopter-leszállóhellyel rendelkező repülőtér, amelyről, vagy amelyen kizárólag egészségügyi mentőrepülés végezhető;
- VI. osztály: olyan polgári célú nem nyilvános repülőtér, amelyről a polgári repülés területén közös szabályokról és az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség létrehozásáról, valamint a 91/670/EK tanácsi rendelet. Az 1592/2002/EK rendelet és a 2004/36/EK irányelv hatályaon kívül helyezéséről szóló, 2008. február 20-i 216/2008/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet II. melléklet *e)–j)* pontjában meghatározott légi jármű szabadidős alkalmazása végezhető, és amely motoros légi járműveket a zajgátló védőövezet kijelöléséről rendelkező határozatban meghatározott maximális műveletszámig, motor vagy hajtómű nélküli légi járműveket mozgásszám korlátozás nélkül jogosult kiszolgálni.

A létesítés engedélyezéséhez vagy bejelentéséhez teljesítendő követelmények alapján a leszállóhelyek a következő osztályokba tartoznak:

- „A” osztály: országos vagy helyi jelentőségű rendezvényen részt vevő légi járművek le- és felszállására kijelölt terület, amelyen a használni tervezett legnagyobb méretű, súlyú, légi jármű számára kielégítő hosszúsági, szélességi mérettel és akadálymentességgel rendelkező repülési sáv áll rendelkezésre;
- „B” osztály: a feltöltőhely kivételével légi járművel folytatott munkavégzés céljára szolgáló, le- és felszállásra kijelölt olyan terület, amelyen a használó légi jármű számára a Légiüzemeltetési utasításában meghatározott hosszúsági, szélességi mérettel és akadálymentességgel rendelkező repülési sáv áll rendelkezésre, és ahol a le- és felszállást biztonságosan végre lehet hajtani;
- „C” osztály: feltöltőhely, amelyen a használó légi jármű számára a Légiüzemeltetési utasításában meghatározott hosszúsági, szélességi mérettel és akadálymentességgel rendelkező repülési sáv áll rendelkezésre, és ahol a le- és felszállást biztonságosan végre lehet hajtani.

A rendelet alkalmazása során ICAO előírás: a nemzetközi polgári repülésről Chicagóban, az 1944. évi december hó 7. napján aláírt Egyezmény Függelékeinek kihirdetéséről szóló 2007. évi XLVI. törvény mellékleteként kihirdetett 14. függelékben meghatározott, a repülőterre vonatkozó követelmény.

Magyarországon jelenleg 121 polgári repülőtér működik (lásd az 1. táblázatot) és három katonai repülőtér van használatban, Kecskemét, Pápa, Szolnok és egy használaton kívül Taszár.

## Novoszát Péter: A regionális repülőterek szerepe és fejlődése Magyarországon

	Megnevezés	Osz- tály	ICAO kód	ICAO tervezési kategó- ria*	Futópá- lya felülete	Üzemeltető neve
1.	Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér	I.	LHBP	4E	Beton	Budapest Airport Zrt.
2.	Debrecen Nemzetközi Repülőtér	I.	LHDC	4D	Beton	Airport-Debrecen Kft.
3.	Sármellék, Hévíz Balaton Repülőtér	I.	LHSM	4E	Beton	Hévíz-Balaton Airport Kft.
4.	Győr-Pér Repülőtér	II.	LHPR	3C	Aszfalt	Győr-Pér Repülőtér Kft.
5.	Nyíregyháza	II.	LHNY	2C	Aszfalt	Tréner Kft.
6.	Pécs-Pogány	II.	LHPP	3C	Aszfalt	Pécs-Pogány Repülőtér Működtető Kft.
7.	Szeged	II.	LHUD	2C	Aszfalt, Fű	Szegedi Közlekedési Kft.
8.	Kecel	III.	LHKC	H1	Beton	Pintér Művek
9.	Atkár-Gyöngyöshalász	IV.	LHAK	1C	Fű	Molnár Csaba, Váradi László
10.	Balatonfüred, Földes Airfield	IV.		1B	Fű	Dr. Juhász Tamás
11.	Balatonkeresztúr	IV.	LHBK	1C	Fű	Minorics Gépgyártó Kft.
12.	Ballószög	IV.	LHBL	1C	Fű	Faragó Gyula
13.	Bácsbokod	IV.	LHBO	1C	Fű	MT-GÉP-KER Kft.
14.	Bátonyterenye	IV.	LHBT	1C	Fű	Cserhát Repülő Klub
15.	Békéscsaba	IV.	LHBC	2C	Aszfalt, Fű	Békés Airport Kft.
16.	Bodmér-Felcsút	IV.	LHFC	1A	Fű	Tesoma Kft.
17.	Börgönd, Alba Airport	IV.	LHBD	2C	Fű	Albatrosz Repülő Egyesület
18.	Bőny	IV.	LHBY	1C	Fű	Kobo-Coop '96 Kft.
19.	Budakeszi, Farkashegy	IV.	LHFH	2C	Fű	MÁV Repülő Sportegyesület
20.	Budaörs	IV.	LHBS	2C	Fű	Aeroglobe Kft.
21.	Bük-Fürdő	IV.	LHBF	1C	Fű	Bodorkós Gellért
22.	Cegléd	IV.	LHCL	1B	Fű	Füle Győző
23.	Dáka	IV.	LHDA	1C	Fű	Dákai Repülő Sportegyesület
24.	Dunakeszi	IV.	LHDK	1C	Fű	Malév Repülőklub
25.	Dunaújváros	IV.	LHDV	2C	Fű	Dunaferr Repülőklub
26.	Eger	IV.	LHER	1C	Fű	Halley Kft.
27.	Esztergom	IV.	LHEM	2C	Fű	Aero Club Esztergom
28.	Érsekcsanád	IV.	LHEC	1C	Fű	Multifly Kft.
29.	Fertőrákos, Piusz Puszta	IV.	LHFP	1A	Fű	Corvinus Airport Kft.
30.	Fertőszentmiklós	IV.	LHFM	2C	Aszfalt	Meidl Airport Kft.
31.	Gödöllő	IV.	LHGD	2C	Fű	Sky Escort Hungary Aero Club
32.	Gyöngyös, Pipishegy	IV.	LHGY	1C	Fű	Repülő Club Gyöngyös
33.	Győrújbarát	IV.	LHGU	H1	Beton	Heliszolg Kft.
34.	Gyúró	IV.	LHGR	1B	Fű	MX-treme Kft.
35.	Hajdúszoboszló	IV.	LHHO	2C	Fű	Aero Club Hajdúszoboszló
36.	Hajmáskér	IV.	LHHK	1C	Fű	Hidroplán Nord Kft.
37.	Hódmezővásárhely	IV.	LHHM	1C	Fű	Turi István
38.	Jakabszállás	IV.	LHJK	1B	Aszfalt, Fű	Mészi Air Service Kft.
39.	Kadarkút	IV.	LHKT	2C	Fű	Fly-Coop Kft.
40.	Kalocsa	IV.	LHKA	1C	Beton	Airport Kalocsa Repülő és Szabadidő-sport Egyesület
41.	Kaposvár-Kaposújlak	IV.	LHKV	1C	Beton	AVIA-Rent Kft.
42.	Kecskéd	IV.	LHKD	2C	Fű	Old Timer Aero Club
43.	Kiskőrös-Akasztó	IV.	LHKI	1C	Fű	Sólyom Repülő Egyesület
44.	Kiskunfélegyháza	IV.	LHKH	1C	Fű	Kiskunfélegyházi AERO Klub Sport-egyesület
45.	Kiskunhalas-Füzespuszta	IV.	LHKF	1C	Fű	Halasi Repülő Egyesület
46.	Kiskunlacháza	IV.	LHKK	1C	Beton	Közép-magyarországi Repülőtér-fejlesztő Kft.
47.	Kunmadaras	IV.	LHKM	1C	Beton	Aero-Wasp Légiszolgáltató Egyéni Cég
48.	Kutas-Hertelendy	IV.	LHKU	1A	Fű	Fly-Coop Kft.
49.	Lipót, Szigetköz	IV.	LHLI	1C	Fű	Turi István

## Novoszáth Péter: A regionális repülőterek szerepe és fejlődése Magyarországon

Megnevezés		Osz- tály	ICAO kód	ICAO tervezési kategó- ria*	Futópá- lya felülete	Üzemeltető neve
50.	Maklár	IV.	LHMR	1C	Fű	Egri Repülőklub
51.	Matkópuszta	IV.	LHMP	2C	Fű	Agrionfly Kft.
52.	Miskolc	IV.	LHMC	1C	Fű	Borsod Megyei Repülő Klub
53.	Nagykanizsa	IV.	LHNC	2C	Fű	Nagykanizsai Sportrepülő Egyesület
54.	Nagyszénás	IV.	LHNS	1C	Fű	Szemp Air Kft.
55.	Ócsény	IV.	LHOY	2C	Fű	Ócsényi Repülőklub Sportegyesület
56.	Papkutapuszta	IV.	LHPK	1B	Fű	Aero Média Légiszolg. Kft.
57.	Pusztacslád	IV.	LHPC	1B	Fű	Hujber János
58.	Pusztaszter	IV.	LHPS	1B	Fű	Tülkös János
59.	Pusztaszter West	IV.	LHPW	1A	Fű	Papp Tibor
60.	Sárszentmihály-Úrhida	IV.	LHUH	1C	Fű	Cser Antal
61.	Siófok-Kiliti	IV.	LHSK	2C	Fű	Siófok-Kiliti Replótér Kft.
62.	Sitke	IV.	LHSI	1B	Fű	Aviation Services Agency Kft.
63.	Surjány	IV.	LHSU	1C	Fű	Nagy Attila
64.	Szabadszállás-Balázs-puszta	IV.	LHSB	1C	Fű	Emódi Zsikla József
65.	Szarvas, Kákahalom	IV.	LHSV	1C	Fű	Aerotechnika M&T Budapest Zrt.
66.	Szatymaz	IV.	LHST	1C	Fű	Szemp Air Kft./Szatymaz Repülőtér Kft
67.	Szentes	IV.	LHSZ	1C	Fű	Repülőklub Szentes
68.	Szentkirályszabadja	IV.	LHSA	1C	Aszfalt	Hidroplán Nord Kft.
69.	Szolnok-Szandszőlős	IV.	LHSS	2C	Fű	Honvéd Sportrepülő Egyesület
70.	Szombathely	IV.	LHSY	2C	Fű	Szombathelyi Repülőklub
71.	Tápiószentmárton	IV.	LHTM	1C	Fű	East Line Air Team
72.	Tököl	IV.	LHTL	1C	Beton	Master Sky kft.
73.	Veresegyház	IV.	LHVE	1B	Fű	East Line Air Team
74.	Zalaegerszeg	IV.	LHZA	2C	Fű	Gratis Kft.
75.	Zalakaros	IV.	LHZK	2A	Fű	Horváth István
76.	Ajka Magyar Imre Kórház	V.		H1	Burkolt	Ajkai Magyar Imre Kórház
77.	Baja Szent Rókus Kórház	V.		H1	Burkolt	Baja Szent Rókus Kórház
78.	Balassagyarmat dr. Kenessey Albert Kórház	V.		H1	Burkolt	dr. Kenessey Albert Kórház-Rendelőintézet
79.	Balatonfüred Mentőbázis	V.		H1	Beton	Magyar Légimentő Nonprofit Kft.
80.	Budapest Honvéd Kórház	V.		H1	Burkolt	Magyar Honvédség Egészségügyi Központ
81.	Budapest Merényi Gusztáv Kórház	V.		H1	Burkolt	Egyesített Szent István és Szent László Kórház-Rendelőintézet
82.	Budapest Szent Imre Kórház	V.		H1	Burkolt	Budapest Szent Imre Kórház
83.	Budapest Uzsoki utcai Kórház	V.		H1	Burkolt	Uzsoki utcai Kórház
84.	Debrecen Klinika	V.		H1	Burkolt	Debreceni Egyetem Orvos- és Egészségtudományi Centrum
85.	Győr Petz Aladár Kórház	V.		H1	Burkolt	Győr Petz Aladár Megyei Oktató Kórház
86.	Gyula Pándy Kálmán Kórház	V.		H1	Burkolt	Békés Megyei Pándy Kálmán Kórház
87.	Hatvan Albert Schweitzer Kórház – Rendelőintézet	V.		H1	Burkolt	Albert Schweitzer Kórház – Rendelőintézet
88.	Kaposvár Kaposi Mór Kórház	V.		H1	Burkolt	Kaposvári Kaposi Mór Oktató Kórház
89.	Kecskemét Kórház	V.		H1	Beton	Bács-Kiskun Megyei Kórház Szegedi Tudományegyetem Oktató Kórház
90.	Kiskunhalas Semmelweis Kórház	V.		H1	Burkolt	Semmelweis Halasi Kórház Nonprofit Kft.
91.	Miskolc Megyei Kórház	V.		H1	Burkolt	Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Kórház és Egyetemi Oktató Kórház
92.	Nyíregyházi Kórház	V.		H1	Burkolt	Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Kórházak és Egyetemi Oktatókórház
93.	Pécs Klinikai Központ	V.		H1	Burkolt	Pécsi Tudományegyetem Klinikai Központ
94.	Siófok Kórház-Rendelőintézet	V.		H1	Burkolt	Siófok Kórház – Rendelőintézet
95.	Szeged Klinikai Központ	V.		H1	Burkolt	Szent-Györgyi Albert Klinikai Központ

	Megnevezés	Osztály	ICAO kód	ICAO tervezési kategória*	Futópálya felülete	Üzemeltető neve
96.	Szentes Bugyi István Kórház	V.		H1	Burkolt	Csongrád Megyei Dr. Bugyi István Kórház
97.	Szigetvári Kórház	V.		H1	Burkolt	Szigetvári Kórház
98.	Szolnok Hetényi Géza Kórház	V.		H1	Burkolt	Szolnok Hetényi Géza Kórház
99.	Szombathely Markusovszky Kórház	V.		H1	Burkolt	Vas Megyei Markusovszky Kórház
100.	Tatabánya Szent Borbála Kórház	V.		H1	Burkolt	Szent Borbála Kórház
101.	Veszprémi Csolnoky Ferenc Kórház	V.		H1	Burkolt	Csolnoky Ferenc Kórház
102.	Zalaegerszeg Kórház	V.		H1	Burkolt	Zala Megyei Kórház
103.	Baja	VI.		1C	Fű	Dózsai Mihály
104.	Balatonederics	VI.		1C	Fű	Bognair Kft.
105.	Balatonfőkajár	VI.		1C	Fű	Balatonfőkajár Repülő Club
106.	Balatonlelle	VI.		1C	Fű	Lelle Sárkányrepülőklub
107.	Becsehely	VI.		1C	Fű	Kanizsa Repülőklub Sportegyesület
108.	Cserszegtomaj-Hévíz	VI.		1C	Fű	Varga Miklós
109.	Csikéria	VI.		1A	Fű	Papp Sándor
110.	Dány	VI.		1C	Fű	Bánhidi László
111.	Dévaványa	VI.		1B	Fű	Jenei József
112.	Dunabogdány	VI.		1C	Fű	Aeroglobus Repülő SE
113.	Halászi	VI.		1C	Fű	Pakucs György
114.	Inárcs	VI.		1B	Fű	Sallai János
115.	Kislőd	VI.		1C	Fű	Rózsavölgyi László
116.	Martfű	VI.		1B	Fű	Szabó Tamás
117.	Rétság	VI.		1C	Fű	Extrém Légisport Egyesület
118.	Soltvadkert	VI.		1C	Fű	Soltvadkert Repülősport Egyesület
119.	Sülysáp	VI.		1C	Fű	Vercsik József
120.	Tótvázsony	VI.		1C	Fű	Kubinyi Zoltán
121.	Zalacsány	VI.		1A	Fű	Ambrus Szilárd

\*Az ICAO tervezési kategóriák meghatározását lásd részletesebben az ICAO ANNEX 14-ben [5]

1. táblázat Magyarország jelenleg működő polgári repülőterei [6]



2. ábra Magyarország repülőtereinek elhelyezkedése [7]

Jelenleg három – I. osztályba tartozó – nemzetközi (a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi repülőtér, a Debrecen Airport és a sármelléki Hévíz-Balaton Airport) és négy – II. osztályba tartozó – kereskedelmi repülőtér (Győr-Pér, Nyíregyháza, Pécs-Pogány, Szeged) üzemel. Az egyetlen III.

osztályba sorolt repülőtér Kecelen található. A IV. osztályba 70 repülőtér tartozik, 29 db egészségügyi mentésre szolgáló repülőtér működik. A VI. osztályba 14 repülőteret soroltak.

A nemzetközi polgári repülésről Chicagóban, az 1944. évi december hó 7. napján aláírt Egyezmény Függelékének kihirdetéséről szóló 2007. évi XLVI. törvény mellékleteként kihirdetett 14. Függelékében foglaltak alapján repülőtér létesítési engedélyhez szükséges feltételek:

- ➔ 1. Az I. osztályú repülőtér esetében. A repülőtérnek a II. osztályú repülőterekre meghatározottakon túlmenően a következő feltételeket kell biztosítani
  - állandó határátkelőhely,
  - a Nemzeti Adó- és Vámhivatalnak az Európai Unió külső vámhatárán működő szerve működéséhez szükséges feltételek,
  - fegyveres biztonsági szolgálat.
- ➔ 2. A II. osztályú repülőtér esetében
  - 2.1. A repülőtér mentési, műszaki mentési és tűzvédelmi szintjét az ICAO által előírtak alapján kell meghatározni.
  - 2.2. A repülőtéren a nagyközönség számára nyitva álló területet vagy területeket kell kijelölni.
  - 2.3. A repülőtérnek az e rendeletben meghatározottakon túlmenően a következő feltételeket kell biztosítania:
    - 2.3.1. szilárd burkolat (futópálya, gurulóút, előtér);
    - 2.3.2. légiforgalmi irányító vagy a tervezett forgalom függvényében repüléstájékoztató szolgálat;
    - 2.3.3. tanúsított repülésmeteorológiai szolgáltató által felügyelt (fenntartott) repülésmeteorológiai szolgálat, rendszeres METAR és TAF készítés;
    - 2.3.4. ellenőrzött légtér vagy ha a tervezett forgalom nem indokolja, TIZ;
    - 2.3.5. precíziós műszeres futópálya (legalább CAT I.);
    - 2.3.6. repülőtéri rendőri szolgálat;
    - 2.3.7. üzemanyag kiszolgálás;
    - 2.3.8. utasterminál, cargo terminál;
    - 2.3.9. utas és árukezelő eszközök, létesítmények;
    - 2.3.10. utasbiztonsági ellenőrzés, poggyászkezelés;
    - 2.3.11. tűzoltó szolgálat;
    - 2.3.12. AFTN és SITA kapcsolat;
    - 2.3.13. közzétett üzemidő és szolgáltatások;
    - 2.3.14. SRA;
    - 2.3.15. téli üzemhez szükséges hó eltakarító és más eszközök.
  - 2.4. Repülőtérrend.
- ➔ 3. A III-IV. osztályú repülőtér esetében
  - 3.1. A repülőtéren legalább egy repülési sávot, munkaterületet kell kijelölni, amely magában foglal egy természetes talajú vagy szilárd burkolattal ellátott futópályát, vagy helikopter fel- és leszállására alkalmas területet.
  - 3.2. A repülőtéren, a repülési sávon kívül létesíteni kell előteret vagy állóhelyeket (mozgásterület), valamint a légijármű személyzete, és a repülőteret üzemeltető szolgálatok számára megfelelő elhelyezést nyújtó kiszolgáló létesítményt.

- 3.3. Természetes talajú repülőtéren állandósított geodéziai alpontok létesítéséhez vonatkoztatva kell a biztonsági védőövezetet kijelölni. Szilárd burkolatú futópálya esetén a biztonsági védőövezet kiinduló pontjai a futópálya középvonalaiban a futópálya mindkét végén jelölt pontok.
- 3.4. Repülőtérend.
- 3.5. Nem nyilvános repülőtérré vonatkozó Kényszerhelyzeti Terv.
- ➔ 4. Az V. osztályú repülőtér esetében
- ➔ 5. A VI. osztályú repülőtér esetében
  - 5.1. A repülőtéren legalább egy repülési sávot, munkaterületet kell kijelölni, amely magában foglal a repülőtéren fogadni tervezett géptípusnak megfelelő, egy természetes talajú vagy szilárd burkolattal ellátott futópályát.
  - 5.2. Repülőtérend.

Repülőtér fejlesztésnek minősül [4]:

- ➔ a repülőtér magasabb osztályba sorolása, vagy ICAO előírás szerinti átminősítése,
- ➔ meglévő szilárd burkolatú futópálya hosszabbítása vagy új szilárd burkolatú futópálya kiépítése, valamint új gurulóút építése,
- ➔ a repülőtér éjszakai használatát lehetővé tevő, vagy a futópálya ICAO előírás szerinti típusának (nem műszeres, nem-precíziós megközelítésű, CAT I-III. precíziós megközelítésű) változását eredményező fénytechnikai vagy navigációs rendszer telepítése.

A repülőtér fejlesztéséhez a légiközlekedési hatóság engedélye szükséges. A fejlesztés engedélyezése során a légiközlekedési hatóság a 159/2010. (V.6.) Korm. rendelet megfelelő alkalmazásával jár el, azzal, hogy a tervezett fejlesztés szerint - amennyiben szükséges – a kijelölt zajgátló védőövezetet módosítani kell.

### KATONAI REPÜLŐTEREK

Az állami repülések célját szolgáló repülőtér minden olyan nem nyilvános repülőtér, amely honvédelmi és rendvédelmi célokat szolgál, és amely a Légügyi törvény. 41. §-ának (3) és (4) bekezdésében meghatározott esetek kivételével kizárólag az üzemben tartó engedélye alapján vehető igénybe. A hatályos jogszabály szerint az állami repülések céljára szolgáló repülőtér akkor tartható üzemben, ha

- ➔ rendelkezik a katonai légügyi hatóság által kiadott, hatályos üzemben tartási engedéllyel;
- ➔ a repülőtérendet a katonai légügyi hatóság jóváhagyta;
- ➔ a légi járművek biztonságos fel- és leszállásának, továbbá a repülőtéren való helyzetváltoztatásának feltételei biztosítottak;
- ➔ létrehozták és működtetik a biztonságos használat érdekében szükséges szolgálatokat (pl. légiforgalmi, repülésmeteorológiai, tűzoltó, mentő, elsősegélynyújtó, repülőtér karbantartó, műszaki mentő) a repülőtér kategóriája szerint;
- ➔ a repülőtér zajgátló védőövezetét és azon belül a zajövezetek határait – a külön jogszabályban foglaltaknak megfelelően – kijelölték.

Magyarországon jelenleg három katonai repülőtér van használatban: Kecskemét, Pápa, Szolnok és egy használaton kívül Taszár.



Repülőtér	Város	ICAO kód	Magasság	Pályák
MH 59. Szentgyörgyi Dezső repülőbázis	Kecskemét	LHKE	115 m (376 láb)	2500×60 m betonozott
MH Pápa Bázisrepülőtér	Pápa	LHPA	145 m (476 láb)	2399×60 m betonozott
MH 86. Szolnok Helikopter Bázis	Szolnok	LHSN	89 m (292 láb)	2000×70 m aszfaltozott 2000×50 m füves
MH Kapos Bázisrepülőtér (bezárt)	Taszár	LHTA	160 m (526 láb)	2500×60 m betonozott Használaton kívül

2. táblázat Magyarország katonai repülőterei [8]

## KECSKEMÉTI REPÜLŐTÉR

A Magyar Honvédség 59. Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis a Magyar Honvédség egyik légi katonai szervezete, amely az MH Összhaderőnemi Parancsnokság közvetlen irányítása alá tartozik. Rendeltetése Magyarország és a NATO szövetségesek légterének, csapatainak és területeinek oltalmazása, sérthetlenségének biztosítása a NATO és a Magyar Légierő kijelölt egységeivel együttműködésben, alegységeivel együtt. Az alakulat a kecskeméti katonai repülőtéren látja el feladatait. A kecskeméti katonai repülőtér a Magyar Honvédség egyik harcászati repülőbázisa a pápai és szolnoki mellett. Kecskeméttől északkeletre található. Innen látják el a hazai légtér védelmét. Kecskeméten speciális katonai repülőkórház is található, ahol többek között a repülő orvosi alkalmassági minősítő vizsgálatokat végzik [9].

A kormány a kecskeméti katonai repülőtér polgári célú fejlesztését nemzetgazdasági szempontból kiemelt jelentőségű üggyé nyilvánította 2017. augusztus 28-án [10]. A beruházás a Modern városok programból összesen öt és fél milliárd forintot kap. A kecskeméti városvezetés 2016-ban állapodott meg a kormányzattal a Modern városok program részeként öt és fél milliárd forint fejlesztési keretről a repülőtér fejlesztéséhez. Ezt követően megvizsgálták a honvédelmi tárcával közösen és egy előkészítő tanulmányban össze is foglalták, hogy az MH 59. Szentgyörgyi Dezső Repülőbázison miként lehet a katonai és a polgári légikikötő elkülönítését elérni. A hatástanulmány szerint a polgári repülőtér a létesítmény északi-északnyugati oldalán kaphat helyet, amely az északi elkerülő út felé esik. Ez azért is előnyös lenne, mert egy bekötőúttal és egy felhajtóval a 445-ös főúton át a reptérről gyorsan elérhető lenne az M5-ös autópálya. A repülőtéren ezen a részén lévő katonai zóna átköltöztetéséhez a NATO-val kell egyeztetni. Ha ez lezárult, kezdődhet meg a kiszolgáló épületek megépítése. Az együttes katonai-polgári felhasználáshoz ugyanis egyes katonai objektumokat máshová kell áthelyezni, mivel repülésbiztonsági okokból a polgári repülőket, helikoptereket nem üzemelhetnek felfegyverzett katonai légi járművek mellett. A tervezett beruházások között szerepel egy polgári utasforgalmi terminál, egy teheráruraktár kialakítása, üzemanyag-tárolók létesítése, valamint a közműhálózat fejlesztése és a biztonsági kommunikációs rendszerek kiépítése is. A finanszírozás kapcsán a város tárgyal a Honvédelmi Minisztérium cégével, a HM EI Zrt.-vel egy közös gazdasági társaság létesítéséről. Emellett a fejlesztések másik felét a város gazdaságfejlesztési alapjából kívánják fedezni. A reptér polgári célú hasznosítása nem lesz gyors folyamat, lépésről lépésre alakulhat ki, a teljes felfuttatás akár tíz évig is eltarthat. Az engedélyeztetési folyamat 2018. év végére befejeződhet. A közvetlen légi kapcsolatot indokolja többek között olyan nagy gyár, mint a Mercedes és legfontosabb beszállítói igénye is [11].

A katonai repülőtereknek békeidőben általában alacsony a kihasználtsága. A helyi, katonai repülések kiszolgálása érdekében a repülőtéri berendezéseknek és személyzetnek ugyanúgy 24 órában rendelkezésre kell, hogy álljanak, mintha nagyobb, polgári forgalmat is kiszolgálva kellene üzemelniük. A jelenleg üzemelő katonai repülőterek alapterülete és főbb infrastrukturális elemei ugyanakkor megfelelőek a civil forgalom számára is, illetve új kiszolgálóhelyek létesítésére is van lehetőség. A jelenlegi gazdasági környezetben munkahelyteremtő célkitűzésekkel összhangban a repülésben rejlő gazdasági lehetőségek ki kell használni. A katonai repülőterek polgári – katonai felhasználásának (üzemeltetésének) hazai jogszabályi hátterét mutatja be részletesebben Csengeri János egy cikkében [12]. Míg a katonai repülőterek közös polgár-katonai hasznosításának nemzetközi tapasztalatait. Magyarországi lehetőségeit Keszthelyi Gyula összefoglaló cikkéből ismerhetjük meg [13].

### PÁPAI REPÜLŐTÉR

A MH Pápa Bázisrepülőtér (becenevén a „*Párduc*”) Pápa város közelében található, Magyarország három, magyar üzemeltetésű, működő katonai reptereinek egyike a szolnoki és a kecskeméti mellett. Napjainkban Magyarország egyetlen Nyugat-magyarországi működő, katonai repülőtere. A repülőtér rendeltetése Magyarország Alaptörvényének 45. cikkében, továbbá Hvt. 36. §-ában, és a Hvt. 38. § (1) bekezdése szerinti jogszabályokban, közjogi szervezetszabályozó eszközökben, valamint belső rendelkezésekben meghatározott feladatok ellátása, valamint az MH részére meghatározott feladatok végrehajtásának biztosítása érdekében biztosítani és végrehajtani a készenlét fokozásával, hadrafoghatósággal, feltöltési készséggel, békevezetéssel kapcsolatos feladatokat [14].

A repülőtér már a második világháborúban is üzemelt, 1945. április-májusában ide települt a szovjet 611. vadászrepülő-ezred Jak-1, Jak-3 és Jak-9 típusú repülőgépekkel. A rendszerváltás után, 1992-ben az ezred felvette az MH 47. Pápa Harcászati Repülőezred nevet, és így teljesített készenléti szolgálatot a repülőtéren. A haderőcsökkentés és átszervezés miatt 2000. augusztus 24-én az MH 47. Harcászati Repülőezred gépállományát kivonták a működésből és a teljes gépparkot leállították. Egy szűk évvel később, 2001. június 30-án az ezred is megszűnt, hogy 2001. július 1-jén megalakuljon belőle az MH Pápa Bázisrepülőtér. A repülőteret az NSIP (NATO Security Investment Programme) támogatásával elkezdtek modernizálni. Négy évvel később, 2005. február 23-án befejeződött a Légiforgalmi Irányító Központ épületének teljes felújítása. Az átadásig kiépítették a BAK-12 típusú vészelfogó rendszert, kibővítették a futópálya végbiztonsági zónáit, felújították a futópálya burkolatokat és felületi jelzésrendszereiket, folyékonyoxigén-töltő állomást, hajtóművező, átfegyverző és új repülőgép tároló zónákat építettek ki, valamint STANAG-szerinti fényrendszerekkel látták el a teljes repülőteret. Egy 2400 vasúti folyóméter hosszú vasúti vágányt is kiépítettek a repülőtéren, illetve a híradás-közlő rendszerek is felújításra kerültek. A pápai bázisrepülőteret 2005. szeptemberében ünnepélyes keretek között nyitották meg a katonai légiforgalom számára. A megnyitó ünnepségen a Magyar Légierő összes me-revszárnyú repülőgéptípusa leszállt a pályára. A kivont katonai repülőeszközöket napjainkig a reptér egyik gurulóútján tárolják. Egy 2005-ben átadott könnyűszerkezetes légi jármű-javító hangár épületben a Nyugat-magyarországi Légi Kutató-mentő szolgálat repülőeszközei kerültek elhelyezésre, illetve innen adnak napi készenléti szolgálatot [15].

Tizenhárom NATO-tagország 2006. szeptember 12-én szándéknyilatkozatot (Letter of Intent, LOI) írt alá a szövetség légiszállító kapacitásának bővítésére, melyhez később további tagországok is csatlakoztak (Magyarország és Norvégia, véglegesen tizenöt NATO-tagország és két partnerségi tag). A megállapodás szerint 4 db C-17 Globemaster III típusú nehéz teherszállító repülőgépet üzemeltettek volna közösen, az üzemeltető repülőtér későbbi kiválasztásával. A NATO Stratégiai Légiszállítási Képesség (Strategic Airlift Capability – SAC) programja keretében végül 3 db beszerzéséről döntöttek, a tenderen résztvevő repülőterek a pápáin kívül, a németországi Ramstein légibázis és a romániai Konstancai repülőtér voltak. A NATO SAC programjának céljairól és a NATO és a Magyar Honvédséggel való együttműködését mutatja be részletesebben Nemes Tamás egy cikkében [14]. A repülőtér képességeit demonstrálandó, 2007. augusztus 27-én az MH PRT 3. váltásakor kb. 30 t-i eszközállományát erről a repülőtérrel szállították ki Afganisztánba egy, az USAF által felajánlott C-17-es segítségével. A repülőgépek beszerzését és működtetését előkészítő munkacsoport 2007. november 16-án. hirdette ki, hogy a pályázat nyertese a magyar MH Pápa Bázisrepülőtér lett. A NATO SAC keretében működő első gép 2009 őszén érkezett meg, az utolsó harmadik pedig 2010 tavaszán. A három teherszállító gép kiszolgálására egy 150 fős többnemzetiségű állomány van a repülőtéren, a Honvédség 340 főre emelte a repülőtéren szolgálatot teljesítők számát, illetve körülbelül 300–400 fős polgári lakos is munkát vállal a repülőtéren. A Stratégiai Légiszállítási Képesség (SAC) program tagországai 2013. novemberében jóváhagyták az MH Pápa Bázisrepülőtéren felépítendő új hangárkomplexum projekttervezetét, és ezzel kezdetét vette a munka. A magyar nemzeti színű szalag átvágásával 2016. november 17-én ünnepélyes keretek közt, jelképesen nyitották meg a SAC Program egy újabb mérföldkövét jelentő hangár komplexumot. A hangár és a hozzá tartozó számos létesítmény a jövőben nagymértékben megkönnyíti a C-17-es nehéz szállító repülőgépeken elvégzendő esedékes javítási és karbantartási munkálatokat, valamint elősegíti a SAC Programban érintett szervezetek közti hatékonyabb együttműködést [16].



1. kép Az új komplexum a nyugati oldalról nézve [16]

Az MH Pápa Bázisrepülőtér 2017. augusztus 1-től ezred szintű szervezetként működik.

### SZOLNOKI REPÜLŐTÉR

Az MH 86. Szolnok Helikopter Bázis feladatai közé tartozik többek között a szárazföldi csapatok légi támogatása, hadműveleti és gyakorló repülések. A légi kutatás-mentés, katonai és gazdasági célú légi szállítások. A hajózó és repülőműszaki oktatás, részvétel a NATO Flying Training in Canada programban. Készenléti szolgálatok, harcászati légi deszant feladatok,

természeti csapások és ipari és környezeti katasztrófák következményeinek felszámolása. Az ellátás-utaltság rendben kijelölt szervezetek logisztikai támogatása, az állami és katonai felsővezetők légi szállítása, a katonai repülő hagyományok ápolása, a szolnoki Repüléstörténeti Kiállítóhely fenntartása és a kiállított technikai eszközök karbantartása [17].

A repülőtéren két zászlóalj, a Phoenix harci helikopter zászlóalj és a Szállítóhelikopter zászlóalj, egy vegyes kiképző repülő század, valamint műszaki kiszolgáló állomány teljesít szolgálatot. A Phoenix harci helikopter zászlóalj alaprendeltetés a szárazföldi csapatok műveleteinek tűztámogatása, az alkalmazott csapatok érdekében közvetlen légi támogatás (CAS) és légi felderítés, légi sugár- és vegyi felderítés végrehajtása, részvétel a terrorcselekményeket elhárító és megelőző tevékenységekben, valamint a határbiztosítási és katasztrófavédelmi feladatokban. A Szállítóhelikopter zászlóalj alaprendeltetése a légi mozgékonyaságú, ezen belül kiemelten légi-roham műveletek és a légiszállítású műveletek, valamint a CSAR (Harci kutatásmentés) részfeladatok végrehajtása. A CASEVAC. (Harci körülmények közötti egészségügyi kiürítés). Minden féle-forma repülés kivitelezhetetlen lenne a földi kiszolgáló személyzet nélkül. Így van ez a helikopteres repülésnél, főként a katonainál is, ahol a gépek sárkány és hajtóműszerkezetén túl még a fegyverzeti rendszert is ellenőrizni, javítani és feltölteni kell.



2. kép A műszaki kiszolgáló állomány munka közben [18]

Koránt sem szabad azt gondolni, hogy a repülés csak a pilótákról szól. A pilóta élete sokszor függ a műszaki kiszolgáló személyzet munkájától. Hisz a legapróbb hiba esetleg a hajtóműben, repülés közben végzetes is lehet. A télen-nyáron folyamatosan a helikoptereknél dolgozó műszaki és fegyverzeti állomány katonái embert próbáló időjárási körülmények között is ugyan olyan hibátlanul kell, hogy végezzék a feladatukat, mint a pilóták. A műszaki állomány feladata rendkívül sokrétű. Ők végzik el a repülés előtti ellenőrzéseket, felkészítéseket, kerozintankolást, a fegyverzet lőszerfeltöltését. Ezen kívül, a hajtóműindítások során kívülről figyelik és jelzik a pilótának a zavartalan működést, ha kell, a leszállóhelyre irányítják a gépet bonyolult időjárási, vagy tábori körülmények között. A leszállás után azonnal megkezdik a repülés utáni ellenőrzést, a fegyverzet töltetlenségének ellenőrzését, valamint ha gondok akadnak például a fedélzeti géppuskával annak mielőbbi elhárítását [18].

## NEM MŰKÖDŐ REPÜLŐTEREK

Magyarországon több olyan repülőtér is található, amely szovjet katonai célokat szolgált korábban, amíg a szovjet csapatok kivonásra sor nem került 1990. március 12 és 1991. június 19 között [8].

- Csákvári repülőtér (LH58) – Futópálya: 2000×20 (betonozott) Katonai reptér volt, ma csak néha siklóernyősök használják, a futópálya le- és felszállásra alkalmatlan;
- Kunmadarasi repülőtér (LHKM) – Futópálya: 2500×80 (betonozott, kiváló állapotban) Volt szovjet katonai repülőtér. Egyelőre (egy kis része) nem nyilvános polgári reptérként üzemel, gyér zártkörű forgalommal, irányítás nélkül;
- Mátyásfüldi repülőtér (nincs ICAO kód) - Futópálya: 2 db, kb. 900 m hosszú futópálya. (műfüves). Magyarország első forgalmi reptere volt a budaörsi 1937-es megnyitásáig. A második világháborút átvészelt repülőteret a Szövetséges Ellenőrző Bizottság gépei használták. 1948-tól kiképzőszázaad működött itt. Egy részét már beépítették, a maradékon működik Magyarország egyik modellreptere;
- Mezőkövesdi repülőtér Ferihegy-2 után itt található a leghosszabb betonozott futópálya az országban (3,5 km hosszú, 80 m széles), azonban mai állapota alkalmatlan a leszállásra. A repülőtér közös szovjet-magyar katonai tartalék repülőtérként üzemelt a Varsói Szerződés keretében.

## A REGIONÁLIS REPÜLŐTEREK JELENLEGI HELYZETE MAGYARORSZÁGON

A 330/2007. (XII.13) Kormányrendelet alapján a nemzetközi forgalom számára megnyitott repülőtéren határterület a személy-, áru- és járműellenőrzésre kijelölt terület, a tranzitterület, továbbá az induló, illetve érkező légi jármű ajtaja és az útlevél- és vámellenőrzés helye között kijelölt terület. Határátkelőhely az illetékes hatóságok által a külső határok átlépése céljára engedélyezett átkelőhely [19]. A Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtéren a határterület a határátkelőhely területével egybeesik [20].

Magyarországon jelenleg három repülőtéren működik állandó határátkelőhely:

Határátkelőhely megnevezése	Határátkelőhely fajtája	A határátkelőhely nyitvatartási ideje	A határátkelőhelyen lebonyoluló forgalom
Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér	Légi	00:00–24:00	Nemzetközi személy és áruforgalom
Debreceni Nemzetközi Repülőtér	Légi	hétfőtől–péntekig 8:00–16:00-ig szombat–vasárnap 8:00–12:00-ig	Nemzetközi személy és áruforgalom
Sármellék Repülőtér	Légi	április 1-től október 31-ig: hétfőtől péntekig 9:00–18:00 szombat 11:00–21:00 vasárnap 11:00–15:00 november 1-től–március 31-ig hétfőtől vasárnapig 10:00–18:00	Nemzetközi személy és áruforgalom, állat- és növény egészségügyi határállomás kettős felhasználású termékek és technológiák, haditechnikai anyagok, kulturális javak, kábítószer és pszichotróp anyagok, valamint veszélyes hulladékok szállítására kijelölt hely

2. táblázat Az Európai Unió külső vámhatárán működő repülőtéri határátkelőhelyek Magyarországon [21]

Összehasonlításként a Magyarországnál jóval kisebb területű (56 594 km<sup>2</sup>) és kevesebb népességgel (4 190 700 fő) rendelkező Horvátországban 9 repülőtéren van állandó határátkelőhely [22]. A légi közlekedés nyújtotta lehetőségek szinte egyedülállóak, amelyek az Európai Unióban rejlő további gazdaságfejlesztési lehetőségek kihasználását is lehetővé tehetnék, felgyorsíthatnák. Olyan kapcsolatok alakulhatnak ki országok, régiók, városok között, amelyek az európai fejlődés és a régiók felzárkózásának meghatározó elemei lehetnének. Azok az országok, melyek jól kiépített regionális repülőterekkel rendelkeznek, előnyben vannak azokkal szemben, amelyeknél csupán a főváros közelíthető meg légi úton.

A kelet-közép-európai országok csupán csak néhány jól kiépített és működő repülőtérrel rendelkeznek. A regionális repülőterek az egyik leghatékonyabb területfejlesztési tényezőknek számítanak fejlődésük a kelet-közép-európai térség országaiban, így Magyarországon is nagyon lassan halad. Annak ellenére, hogy a repülőterek az egyik leghatékonyabb területfejlesztési tényezőknek számítanak fejlődésük Magyarországon ma is igen vontatottan halad. Magyarországon ma még egy repülőtér sem képes tartósan a költségei fedezeti pontjának megfelelő bevételt generálni, beleértve ebbe a budapesti nemzetközi repülőteret is.

Év	Értékesítés nettó árbevétele	Üzleti tevékenység eredménye	Adózás előtti eredmény	Adófizetési kötelezettség	Adózott eredmény
2008	149 804	22 869	-112 546	-	-112 546
2009	155 063	52 440	-35 403	-	-35 403
2010	162 675	50 671	-35 964	418	-36 383
2011	179 836	54 380	-36 239	-	-36 239
2012	176 682	53 709	-36 288	-	-36 288
2013	183 062	72 111	-31 091	50 521	-31 142
2014	195 656	61 292	-44 756	-3917	-44 752
2015	213 402	99 929	-3266	2419	-5686
2016	235 261	116 598	18 002	3562	14 440
2017	260 965	132 707	35 447	2964	32 483

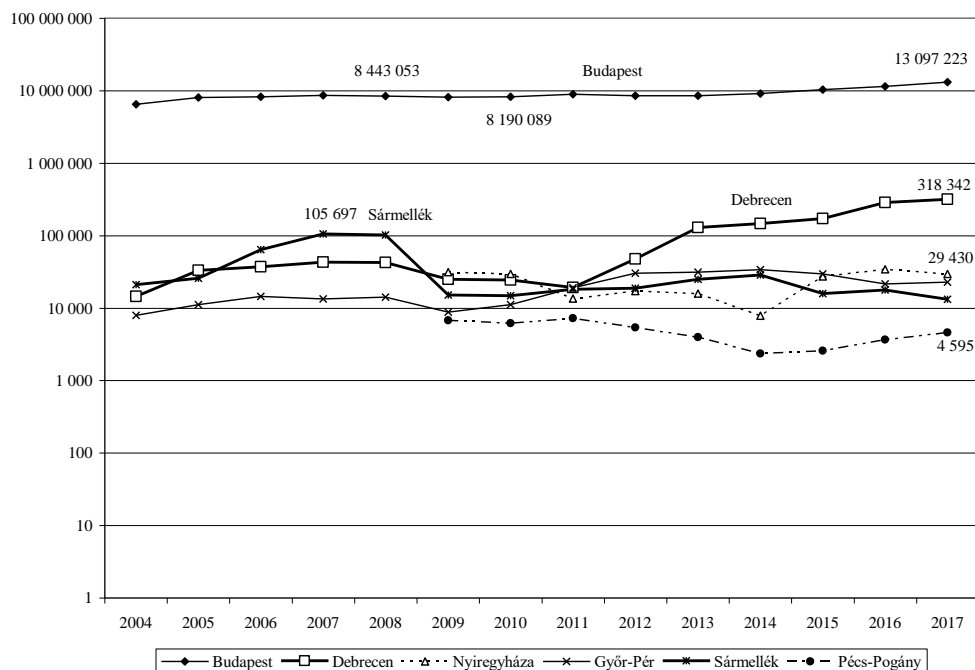
3. táblázat A Budapest Airport Zrt. főbb eredmény adatainak alakulása, adatok ezer euróban [23]

A Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi repülőteret üzemeltető Budapest Airport Zrt. jelentős árbevétele ellenére 2008 és 2016 között igen tekintélyes negatív adózás előtti eredményt volt képes csak létrehozni. A Budapest Airport Zrt. adózás előtti eredményei csak 2016-óta váltak pozitívvá. Kétségtelen az, hogy ebben valamelyest szerepet játszott az is, hogy a budapesti repülőtér utasforgalma 2008 és 2010 között 8 millió 443 ezer utasról 8 millió 190 ezerre csökkent és csak 2011-től indult ismét növekedésnek és haladta meg 2017-re a 13 millió főt.

A többi magyarországi repülőtér közül egyedül csak a debreceni repülőtér utasforgalma haladta meg a 100 ezer főt, míg az utóbbi időben jelentős fejlődést mutató nyíregyházi repülőtér utasforgalma is 30 ezer utas alatt maradt.

A repülőgépes utazások teljesítménye 2016-ban a szállítási módok közül a legnagyobb mértékben (24%-kal) bővült. Az összes személyforgalom növekedése lényegében a légi utazások más közlekedési módokhoz való előtérbe kerülése miatt következett be. A légi utasforgalom 2013–2016 közötti számottevő növekedése ellenére a 2016. évi szint 4,4%-kal elmaradt a 2011-es – a Malév megszűnése előtti utolsó – év szintjétől, a 2010. évit ugyanakkor 8,0%-kal meghaladta. A Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér 2017. évi utasforgalma 13,1 millió fő volt.

Ezzel a légitikötő forgalma 2017-ben is rekordot döntött. A repülőtérre érkezett és onnan indult kereskedelmi járatok száma 2017-ben meghaladta a 95 ezret.



1. ábra Magyarország főbb repülőtereinek éves utasforgalma [24]

Az utasszám bővülési ütemétől elmaradt a járatszám növekedési üteme, így az egy járaton utazók száma emelkedett. (Az egy járatra jutó utasok száma a megelőző tizenhárom évben folyamatosan nőtt. 2003-ban még csak 57 fő volt, 2016-ban 119, 2017-ben pedig már 137). A légitikötő a legnagyobb utasforgalmat 2017-ben – csökkenő sorrendbe állítva – az Egyesült Királysággal, Németországgal, Olaszországgal és Hollandiával bonyolította le.

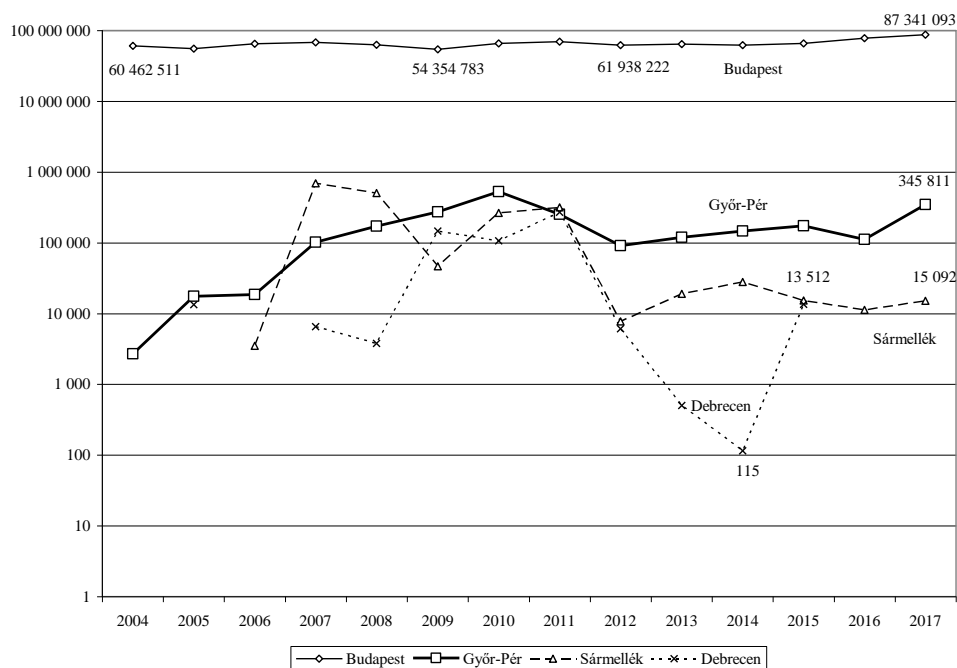
Év	Debrecen	Nyíregyháza	Győr-Pér	Sármellék	Pécs-Pogány
2008	42 650	n.a.	14 177	102 131	n.a.
2009	25 060	31 345	8770	15 075	6791
2010	24 415	29 591	11 112	14 828	6201
2011	19 135	13 488	18 976	18 191	7200
2012	47 746	17 137	30 314	18 831	5400
2013	129 231	15 863	31 274	25 015	3946
2014	145 709	7840	33 817	28 588	2341
2015	172 212	27 320	29 437	15 748	2582
2016	284 965	34 313	21 454	17 663	3644
2017	318 342	29 430	22 785	13 229	4595

4. táblázat A legnagyobb magyar regionális repülőterek utasforgalmának alakulása 2008 és 2017 között [24]

A budapesti légitikötő áruforgalma 87 ezer t volt 2017-ben, az egy évvel korábbi 78 ezer t-hoz képest 9 ezer t-val nőtt. A vidéki repülőterek közül a Debrecen Airport forgalma a legnagyobb, az utasok száma 318 ezer fő volt 2017-ben 33 ezer fővel több, mint egy évvel korábban [25].

A regionális repülőterek többségénél a teljes utasforgalom ugyanakkor jelentősen lecsökkent 2008 és 2017 között. Leginkább szembetűnő ez a tendencia a sármelléki repülőtér esetében, amely esetében a 2007-es 106 ezer főről 2017-re 13 ezer csökkent az éves utasforgalom.





2. ábra Magyarország főbb repülőtereinek éves áruforgalma [24]

Jelentősen növekedés indult el Debrecenben 2012-től az utasforgalom tekintetében, ennek eredményeképpen a 2011. évi 19 ezer főről 2017-ben több mint 318 ezerre emelkedett a debreceni repülőtér utasforgalma. A többi magyar nagyobb regionális repülőtéren ugyanakkor évek óta stagnál az utasforgalom.

Ha az áruforgalom alakulását vizsgáljuk meg részletesebben, akkor szembevetendő az, hogy míg a magyar regionális repülőterek utasforgalma tekintetében még öt hazai repülőtér esetében van, meglehetősen gyér, de már értékelhető forgalom, addig ugyanez az áruforgalom vonatkozásában már csak három magyar regionális repülőtérről mondható csak el.

Dinamikus fejlődést ezen a téren kizárólag csak a Győr-Péri repülőtér áruforgalma mutat, ahol 2017-ben az összes áruforgalom már meghaladta a 345 ezer kg-ot. A debreceni repülőtéren 2014-ben 115 kg-ra csökkent az összes áruforgalom.

Kedvező, hogy 2015-óta újra növekedésnek indult az áruforgalom, de máig meglehetősen szerény maradt. 2015-ben már meghaladta az éves forgalom a 13 ezer kg-ot, de jócskán elmaradt a debreceni repülőtér esetében mindaddig csúcsnak számító 2011. évi 270 ezer 956 kg-tól. A Sármelléki repülőtéren az áruforgalom 15 092 kg volt 2017-ben, ami szintén jóval kevesebb, mint e repülőtér vonatkozásában máig csúcsnak számító 2007. évi 695 ezer 295 kg volt.

Év	Győr-Pér	Sármellék	Debrecen
2004	2 690		
2005	17 473		13 430
2006	18 629	3 500	
2007	101 519	695 295	6 508
2008	171 620	502 560	3 770
2009	274 578	46 500	145 803
2010	528 331	264 773	107 020
2011	252 130	317 150	270 956
2012	90 839	7 787	6 088



2013	119 579	19 086	500
2014	146 300	28 065	115
2015	173 770	15 293	13 512
2016	111 350	11 268	
2017	345 811	15 092	

5. táblázat A legnagyobb magyar regionális repülőterek áruforgalmának alakulása 2008 és 2017 között [24]

E repülőterek mindegyike olyan körzetben helyezkedik el, ahol „érett” szakaszban működő ipari parkok találhatóak, és ahol a betelepült vállalkozások igénylik a repülőtér fejlesztését. A Kormány közlekedés politikai célkitűzései között szerepel a légi közlekedési összeköttetések fejlesztése a szomszédos országokkal (Debrecen, Győr-Pér, Kecskemét, Nyíregyháza, Pécs-Pogány, Sármellék, Szeged regionális jelentőségű repülőtereinek a nemzetközi közforgalmú légi közlekedésbe történő bevonása).

### DEBRECENI REPÜLŐTÉR

A debreceni repülőtér a második világháború után szovjet katonai repülőtérként működött. A repülőtér 1946 és 1968 között, mint a budapesti repülőtér kiegészítő repülőtereként is működött szükség esetén.

Debrecen nemzetközi repülőtere (IATA: DEB; ICAO: LHDC) Kelet-Magyarország legfontosabb és egyben legnagyobb forgalmú nemzetközi repülőtere, 2001 óta a nemzetközi utazóközönség előtt is nyitott légikikötő. Magyarország öt nemzetközi repülőterének egyike; a Budapest Liszt Ferenc nemzetközi repülőtér után 2011-óta a második legforgalmasabb az utasforgalom tekintetében. A város központjától 7 km-re, a debreceni vasúti fő Pályaudvartól 5 km-re déli irányban található. A debreceni repülőtérrel Az első hivatalos repülőjárat egy postai küldeményeket szállító repülőgép volt 1930-ban. Ettől kezdve a belföldi légi forgalom jelentősnek nevezhető, rendszeres járatok üzemeltek Debrecenből Budapestre és Magyarország nagyobb városaiba. Ezzel egy időben sportcélokra is használták, majd katonai repülőtérre lett, az alföldi repülőgépes kiképzés fontos csomópontjaként. A második világháború során a magyar bombázó repülőgépek bázisaként üzemelt. A háborút követően magyar, majd 1951-től szovjet repülőcsapatok állomásoztak itt. 1946 és 1968 között a Ferihegyi repülőtér kitérő repülőtereként fontos szerepet töltött be. A szovjetek 1990 májusában elhagyták a repülőteret és visszaadták a magyar államnak. A sportrepülés újbóli beindításával a repülőtér újjáéledt, majd a nemzetközi polgári repülés is újraindulhatott. A reptér átfogó fejlesztése 2001-ben indult meg, amikor a Debreceni Vagyonkezelő Vállalat megvásárolta a repülőteret üzemeltető Airport-Debrecen Kft-t, így 2001. május 29-én nyilvános, nem kereskedelmi, a nemzetközi forgalom számára megnyitott légikikötővé válhatott. A fejlesztési program alapját a bajor ASTA cég és magyar szakemberek közreműködésével készítették el, a fejlesztési tervet az illetékes minisztérium is elfogadta. A fejlesztési program keretében a vidéki repülőterek közül elsőként Debrecenben épült ki az ISO 9001:2001 környezetközpontú-minőségirányítási rendszer, és ezzel 2002. december 29-én nyilvános, kereskedelmi, a nemzetközi forgalom számára megnyitott repülőtérre vált [26].

A rendszerváltás a repülőtér megújulását, a nemzetközi forgalom és sportrepülések megindulását hozta. Debrecen Megyei Jogú Város Önkormányzata felismerve az új igényeknek megfelelő

fejlesztések szükségességét a repülőtéren egy fejlesztési tervbe foglalta azokat. Azután amikor a város megvásárolta a repülőteret megkezdte a fejlesztések következetes végrehajtását.

A Debreceni Repülőtér 2001-ben elindult átfogó fejlesztési programja keretében az alábbi jelentős változások történtek lépésről lépésre a repülőtér státuszában:

- 2001. május 29 – repülőtér státusza: nem kereskedelmi repülőtér belföldi járatok folytatására, amely nyitott a nemzetközi forgalomnak is;
- 2001. december 29 – repülőtér státusza: kereskedelmi repülőtér belföldi járatok folytatására, amely nyitott a nemzetközi forgalomnak is;
- 2002. május 16 – nemzetközi repülőtér belföldi járatok folytatására, amely nyitott a nemzetközi forgalomnak is;
- 2004. április 22 – folyamatosan nyitva tartó határátkelőhely- és vámhivatal.

Debrecen város 2004-ig a repülőtér megvásárlására, működtetésére és folyamatos fejlesztésére 3,500 millió (14 millió €) forintot költött.

A korábbi logisztikai fejlesztésekhez kapcsolódóan az összesen 8000 m<sup>2</sup> alapterületű, háromemeletes, új innovációs és inkubációs központ megépítését 2016 elejére tervezték befejezni, amibe az irodák mellett a reptér új utasforgalmi terminálját is kialakították. Az új terminál teljes beüzemelését a 2016-os nyári charterszezonra tervezték a régi üzemben tartása mellett, ez azonban 2018-ra csúszott. A két terminállal elviekben akár évi egymillió fős utasforgalmat is képes kezelni a Debreceni Repülőtér. 2017-ben kormány döntés született a reptéri műszeres leszállító rendszer teljes felújításáról. Az új, ILS 2-es kategóriájú rendszert 2018-ban helyezik üzembe [27].

Az önkormányzat és a város vagyonkezelő holdingja 1994 óta összesen 4,7 milliárd forintot költött a repülőtérré, illetve annak fejlesztésére. A repülőtér egyébként évente mintegy háromszáz millió forintos veszteséget termelt, ezért a Debreceni Vagyonkezelő Zrt. partnert keresett az üzemeltetéshez. Az Airport Debrecen Holding tulajdonjogát így 2015-ben a Xanga Investment Kft. és Sciendum Kft szerezte meg. A debreceni repülőtér üzemeltetője jelenleg az Airport-Debrecen Repülőtér - üzemeltető Kft., amelynek tulajdonosai 2016-ban 75%-ban az Airport Debrecen Holding Kft. és 25%-ban a Debreceni Vagyonkezelő Zrt. [28].

Az Airport-Debrecen Repülőtér - üzemeltető Kft. 2016. évi éves mérlegbeszámolója szerint 2016 évben mínusz 237 524 eFt eredménye keletkezett 889 454 eFt mérlegfőösszeg mellett [29].

A debreceni repülőteret 2017-ben 318 184 légi utas használta, az év teljes időszakára vonatkoztatva a növekedés 2016-hoz képest +12%-os volt, ami egy év alatt +33 784 utast jelentett. A Wizz Air bázisgépezetnek illetve Lufthansa City Line menetrend szerinti járatainak és az erős nyári charter forgalomnak köszönhetően 2018-ban további jelentős utasforgalom-bővülésre számítanak. A Debrecen Airport 2017-es utasforgalmát a javuló kihasználtságot mutató menetrend szerinti járatok mellett, a különösen élénk nyári charterforgalomnak köszönheti. A 2017. év utolsó hónapja a tavalyi decemberhez képest is rendkívül élénk volt, hiszen sokan látogattak haza külföldről szeretteikhez, rokonaikhoz a karácsonyi ünnepekre, valamint a téli szünidős városlátogatások száma is évről évre egyre dinamikusabban fejlődik. A debreceni repülőtéren 2017. december 18. óta már összesen nyolc európai és izraeli régióval van közvetlen menetrend szerinti összeköttetése [30].

A debreceni repülőtér érkező és induló utasainak száma 169 850 volt 2018. első hat hónapjában, amely 23%-kal haladja meg az előző év azonos időszakában közölt 137 820 fős adatot. Ez

minden idők legerősebb júniusi és egyben a legerősebb első féléves utasforgalma volt a Debrecen Airportnak. Az előző év azonos hónapjához képest 20%-kal több, 37 250 utas vette igénybe a Debrecen Airportot júniusban. A kedvező növekedési adatok a repülőtér üzemeltető közlése szerint annak köszönhetők, hogy a Wizz Air légitársaság a debreceni bázis gépével már március vége óta több frekvenciával közlekedik és a gép kapacitása nyárra a maximumon üzemel. Európa egyetlen 5-csillagos légitársasága, a Lufthansa pedig már hetente 5-ször repül március vége óta Debrecenből Münchenbe. Debrecennek és a kelet-magyarországi régióknak 2018-óta nyolc városba, London, Párizs, München, Milánó, Moszkva, Eindhoven, Malmö mellett Tel Avivba is van közvetlen menetrend szerinti járata, ami rendkívül kedvező a magyarországi régiók versenyében mind gazdasági mind turisztikai téren [31].



3. Kép: A debreceni repülőtér [32]

A repülőtér célja, hogy Debrecen is felkerüljön a légi teherszállítás térképére, mivel Budapest mellett bőven elférne egy ilyen szolgáltatás, mely a debreceni és a közeli városokban működő vállalkozások mellett a távolabbi, akár a határ túloldalán lévő – ukrain vagy romániai – cégek ilyesfajta igényeit is ki tudná elégíteni.

A fuvaroztatók szempontjából ehhez arra lenne szükség, hogy csaknem napi szinten közlekedjenek áruszállító gépek Debrecenből az európai nagyvárosokba. Sok esetben a speciálisan áruszállító repülőket mellett a személyszállító járatokon is fuvaroznak üzletszerűen árukat. Akár egy ilyen megoldás is elképzelhető legalábbis kezdeti lépésként Debrecenben, ahová a Lufthansa heti három alkalommal indít járatokat Münchenből. Amennyiben a német légitársaság növelné kapacitását, illetve a gépei méretét, az is nagy lendületet adhatna a debreceni légi teherszállítás beindításának. Az áruk Debrecenen keresztüli légi fuvarozása a szállítási idő és a költségek szempontjából is kedvezőbb lenne több régiós importőrnek, exportőrnek [33].

A Modern Városok Program keretében a kormány és Debrecen önkormányzata között kötött megállapodás részeként az állam 1,2 milliárd forintot biztosít egy a repülőgépek le- és felszállását könnyítő rendszer telepítésére. Az ILS I-et cserélik le a korszerűbb ILS II-esre. További forrásokra van szükség, a működtetéshez, a kiképzéshez és a fenntartáshoz is. A szükséges forrásokhoz is a kormány támogatását kérték. Az újabb, 1 milliárd 376,8 millió forintos összeg elbírálásához egy előterjesztést készítettek elő. A kormány 2016. október 27-i ülésén döntött arról, hogy támogatja a repülőtéri légiforgalmi irányítási szolgáltatásra való felkészülést a debreceni nemzetközi repülőtéren, ennek érdekében utasította a nemzetgazdasági minisztert, hogy intézkedjen a

repülőtéri légiforgalmi irányítási szolgáltatásra való felkészüléshez szükséges, a 2017. évben a pénzügyi tranzakciós illetékekkel és a kapcsolódó kincstári díjakkal együtt 1376,8 millió forint biztosításáról. Egyúttal felkérte a nemzeti fejlesztési minisztert, hogy vizsgálja meg a légiforgalmi irányító szolgálat fenntartásának költségeit a debreceni nemzetközi repülőtéren, és a repülőtér 2016. évi forgalmi adataira tekintettel tegyen javaslatot a kormánynak a légiforgalmi irányító szolgálat elkövetkező években történő fenntartási költségének viselőjére [34].

Az új műszeres leszállító rendszer (ILS II) a jelenlegi 800 m-ről 250 m-re hozza le majd le automatikusan a gépeket. Az ILS II-vel jelentősen nő majd a repülésbiztonság a légikikötőben, és nagyobb ködben, havazásban is könnyebben tudnak majd landolni a gépek. Ennek következtében az ILS II rendszer segíthet a nagyobb gépek Debrecenbe csábításában. A debreceni repülőtér jövője szempontjából nagyon fontos döntést hozott a kormány. A Modern Városok Programban elkülönített 1,2 milliárd forint elbíráláshoz ki kellett kérni az Európai Bizottság véleményét is, lévén az a forrás a gazdaság fejlesztéséhez kapcsolódik. Miután ezt támogatta az Európai Bizottság, dönthetett a kormány az újabb, 1 milliárd 372 millió forintos plusztámogatásról is. A pluszpénzből kapcsolódó technológiai fejlesztéseket lehet majd megvalósítani, illetve jelentős forrás jut a képzésre is. Debrecen önkormányzata örömmel üdvözölte a kormány azon döntését, mellyel újabb forrást biztosított a város nemzetközi repülőterének fejlesztéséhez. A repülőteret üzemeltető Xanga cégcsoport az ILS II-es mellett az úgynevezett Air Traffic Controlt, az ATC-t is kiépíteti majd, ami a légtérrel ellenőrzi. Az ellenőrzött légtér megvalósításával tovább fog nőni a repülésbiztonság. Ezt ma már alapkövetelménynek számít, több légitársaság is megköveteli, s ez volt a Wizz Air légitársaság elvárása is ahhoz, hogy tovább növelje debreceni járatai számát. Így ugyanis több gép is tartózkodhat egyszerre a légtérben, ehhez elengedhetetlen a fejlesztés [35].

### NYÍREGYHÁZI REPÜLŐTÉR

A Nyíregyházi repülőtér Magyarország jelentős repülőtereinek az egyike, bár nem nemzetközi repülőtér. Egy aszfaltozott és egy füves pályája van. A helyszínen van lehetőség tandemugrásra, motoros és vitorlázórepülésre, sárkányrepülésre, de sok magángép is landol a reptéren [36]. A Nyíregyházi Repülőtér Magyarország egyik legjobban felszerelt vidéki repülőtere. Szilárd burkolatú futópályája lehetővé teszi a repülőgépek fogadását és indítását esős, belvizes időszakban is, amikor más füves repülőterek már nem használhatók. Az ide telepített rádió navigációs adók (VOR, DME, NDB) elősegítik a leszállást rosszabb látási viszonyok mellett is, illetve lehetőséget nyújtanak különféle műszeres megközelítések gyakorlására. Az éjszaka érkező, vagy induló repülőgépeknek Magyarország egyik legkorszerűbb fénytechnikája segít, ami a futópálya szegély-fényeken kívül bevezető-fénysorokat, precíziós sikló pálya-jelzőfény rendszert (PAPI) és a párás időben hasznos futófénysort (flash-lights) is tartalmaz. A nemzetközi átrepülésekhez határnyitás rendelhető, így ezek az utak végrehajthatók megszakítás nélkül is nyíregyházi ki- vagy belépéssel [37].

A Tréner Kft. üzemelteti a repülőteret. A Tréner Kft. tevékenységét 1992. évben kezdte meg. A társaság alaptevékenysége a repülőtér üzemeltetés. A vállalkozás korlátolt felelősségű társaságként működik, a törzstőke nagysága 30 000 ezer Ft. Székhelye a nyíregyházi repülőtér. A társaság tulajdonosai belföldi magánszemélyek. A repülőteret üzemeltető Kft. 2017. évi egyszerűsített éves beszámolója szerint 2016 évben 122 043 eFt, míg 2017-ben 69 273 eFt adózott eredménye keletkezett 422 034 eFt illetve 633 249 eFt mérlegfőösszeg mellett [38].



A nyíregyházi pilótaképzés több mint 50 éves múlttal rendelkezik. Az itt végzett több mint 600 hivatásos pilóta megalapozta azt a tudást, amely a sikerünk egyik alappillére. Célkitűzésük, hogy Közép-Európa meghatározó pilóta képzési központjává váljanak. Terjeszkedésük közben továbbra is minőségi szolgáltatást nyújtsanak növendékeinknek és a légitársaságoknak egyaránt. A nyíregyházi repülőtéren működik a Central European Flight Academy-t (CEFA), amelyet 2015-ben alapította pilóták képzésével foglalkozó három neves cég, a nyíregyházi székhelyű Tréner Kft., az amszterdami Martinair Flight Academy (MFA) és a pilóták szimulátoros oktatásával foglalkozó Flight Simulation Company (FSC). A pilóták oktatásával foglalkozó három tapasztalt cég által létrehozott CEFA volt az egyik nyertese annak a pályázatnak, amelyet a Wizz Air légitársaság hirdetett meg annak érdekében, hogy a cég működéséhez a következő években szükséges számú első tisztet kiképezzék. A CEFA alapító Tréner Kft. Nyíregyházi Főiskolával együttműködésben, 1992 óta képez pilótákat. A cég által képzett pilóta-növendékek sikerét a több évtizedes tapasztalattal rendelkező, mérnöki végzettségű oktatói gárda, valamint a nyíregyházi repülőtér és a Nyíregyházi Főiskola által biztosított infrastruktúra együttesen segíti. A CEFA által képzett pilóták ugyanakkor a képzés egyes részeiben, multikulturális környezetben, a Hollandiában működő Martinair Flight Academy falai között sajátíthatják el a légitársasági pilótává váláshoz szükséges ismereteket, a legmodernebb oktatási filozófiák szerint. A CEFA által képzett Wizz-kadétek a típusjogosításhoz szükséges ismeretek és gyakorlat elsajátítását a szintén Hollandiában működő, tizenkét Full Flight szimulátort üzemeltető Flight Simulation Company biztosítja. Ez a cég üzemelteti egyébként a Wizz Air budapesti bázisán működő Airbus-szimulátort is, a kadétek az MCC kurzust is a Wizz Air eljárásainak megfelelően végzik el. Ennek köszönhetően a CEFA által képzett Wizz-pilóták már a munkakezdekor jól ismerik majd a légitársaság által alkalmazott eljárásrendeket, ezzel segítve a minél gyorsabb és hatékonyabb integrálódásukat, munkába állásukat [39].

Új hangárépülettel bővült a nyíregyházi repülőtér 2017 júniusában. Az új hangár két épületrészből áll, a 275 m<sup>2</sup>-es részen 2 motoros, 3 vitorlázó repülőt, a 300 m<sup>2</sup>-esen pedig 8 sárkányrepülőt tudnak tárolni. Az épület közel 40 millió forintos magánberuházásban, társadalmi összefogással készült el, a telket pedig az önkormányzat biztosította. A bővítéssel megteremtődtek egy magasabb színvonalú repülés és ejtőernyőzés alapjai, és jobb körülmények várják a sok sikeres repülő, sárkányrepülő és ejtőernyős verseny résztvevőit is. A nyíregyházi repülőtér továbbra is várja a fiatalokat, hogy valósítsák meg légi álmukat, repüljenek egyre többen és egyre biztonságosabban [40].



4. kép Az új hangár a nyíregyházi repülőtéren [41]

A Wizz Air légitársaság 2017 decemberében indította el a Tréner Kft.-vel közösen működtetett Pilótaakadémiáját Nyíregyházán, amely egyelőre csak Lengyelországban élő jelöltek számára érhető el, fiatalok számára kínál egyedülálló lehetőséget arra, hogy előzetes repülési tapasztalat nélkül megszerezzék a kereskedelmi pilóta szakszolgálati engedélyt. Az akadémia csoportjának tagjai 21 hónap alatt sajátítják el és fejlesztik mindazokat az ismereteket, amelyek szükségesek ahhoz, hogy kiváló pilóta váljon belőlük, ezzel támogatva a Wizz Air jelentős növekedését. A program keretében a Wizz Air pilótaképző szervezetekkel működik együtt a minőségi oktatás biztosítása érdekében, a Wizz Air szigorú minőségi követelményeit követve. A légitársaság első két szerződött pilótaképző iskola partnere a Tréner Kft. Magyarországon és Egnatia Aviation Kft. Görögországban. A légitársaság célja, hogy a következő hónapokban bővítse a programját, együttműködve több pilótaképző intézménnyel, és több hasonló programot indítva Közép- és Kelet-Európa más országaiban [42].

### GYŐR-PÉR REPÜLŐTÉR

A Pér községben található – korábban honvédségi tulajdonú – füves repülőtér hasznosítását és regionális/nemzetközi repülőtérre történő fejlesztését az 1994-ben létrejött P-Air Győr-Pér Repülőtér Fejlesztési Kft. indította el. Az első fejlesztési munkálatok 2000-ben kezdődtek el a Phare CBC programból nyert és az AUDI Hungaria Motor Kft. által biztosított pénzügyi források felhasználásával. Ennek eredményeként a szilárd burkolatú futópálya, az új forgalmi előtér és egyéb kapcsolódó létesítmények üzembe helyezése 2003-ban történt meg. Ekkor kezdte meg működését a Győr-Pér Repülőtér Kft. Magyarország egyik legdinamikusabban fejlődő térségében. A repülőtér fontos szerepet tölt be a Nyugat-Dunántúl közlekedési és gazdasági rendszerében, elsősorban gyors és minőségi szolgáltatásainak köszönhetően. A légikikötő nagymértékben javítja a vállalkozások gazdasági, közlekedési, logisztikai lehetőségeit és a régió tökevonzó képességét. Kedvező földrajzi elhelyezkedése miatt a térség három meghatározó fővárosa (Bécs, Pozsony és Budapest) egy óra alatt elérhető autópályán [43].

Az Audi telephelyválasztását nagyban befolyásolta a meglévő Győri repülőtér, amelynek további fejlesztését nagyrészt az Audi biztosította. A kezdetben motorgyártással foglalkozó német vállalat megjelenése további beszállítók megjelenését vonta maga után. A Győri repülőtér adatnyilvántartása szerint a meglévő utasforgalom a nyári charterforgalom kivételével szinte kizárólag az Audi németországi központja Ingolstadt és a Győr között üzleti forgalmát jelenti. Az Audi Győri repülőtér kiépítése kapcsán már korábban kinyilvánította maximális támogatását, mely kapcsán 2002 és 2003 között egy millió euró értékben támogatta a jelenlegi repülőtéri infrastruktúra kiépítését. A repülőtér fejlesztésével kapcsolatosan az AUDI vezetősége határozott elképzelésekkel rendelkezik és a repülőtér üzemeltető társaság működtetéséből is meghatározó súllyal veszi ki részét.

Az AUDI számára az alábbi tényezők miatt fontos a repülőtér fejlesztése:

- ➔ a repülőtér magasabb osztályba sorolása, vagy ICAO előírás szerinti átminősítése,
- ➔ költségmegtakarítás a személyforgalomban az anyavállalat és a leányvállalat közötti viszonylatban;
- ➔ időmegtakarítás, hatékonyság-növelés, termelékenység-növelés a ráfordított munkaerőben;
- ➔ logisztikai biztonság, hatékonyság-növelés;

- Just in Time termelés, kevesebb raktárfelület, gazdaságosabb, rugalmasabb gyártás;
- a versenyképesség növelése a vetélytársakkal szemben;
- a rugalmasság növelése;
- az Audi Hungaria bekapcsolása az európai üzleti vérkeringésbe [44].

Az AUDI Hungariával való együttműködése magas színvonalú követelményeket támaszt az üzleti- és teheráru kiszolgálásban. A repülőtér partnereinek és a légitársaságok elégedettségét mutatja a repülőtér folyamatosan növekvő forgalma, amely leginkább a rugalmasságnak és partnerközpontúságnak köszönhető.

A Győr-Pér repülőtér 2013-ban jelentős mérföldkőhöz ért. A tulajdonosi kör az AUDI Hungaria Services Zrt-vel bővült, amely újabb lendületet adott a repülőtér infrastrukturális fejlesztéséhez. Ennek eredményeként a meghosszabbított futópálya, korszerűsített fénytechnika és a kapcsolódó bővítési munkálatok lehetővé tették Airbus A320 és Boeing 737 típusok fogadását. A társaság jegyzett tőkéjének az alakulása jelenleg az alábbi:

- |  |                      |
|--|----------------------|
| → Audi Hungaria Services Zrt.          | 187 430 e Ft – 46,1% |
| → Győr Megyei Jogú Város Önkormányzata | 157 350 e Ft – 38,7% |
| → Magyar Nemzeti Vagyonkezelő Zrt.     | 61 780 e Ft – 15,2%  |

A Győr-Pér Repülőtér Kft. 2017. évi egyszerűsített éves beszámoló 2017. december 31-i fordulónapra készített mérlege szerint az eszközök és források egyező végösszege 2 897 817 e Ft, az adózott eredmény pedig 1248 e Ft (nyereség) volt. A társaság 2016-ban is nyereséges volt 2 869 188 e Ft mérleg fő összeg mellett 1257 e Ft adózott eredménye keletkezett [45].

A Győr-Pér repülőtér Kft. 2013-ban a GOP-3.2.1-11-2012-0045 azonosító számú projekt keretében 27,49%-os mértékű, 123 155 200 Ft vissza nem térítendő támogatást nyert el a „Logisztikai központok és szolgáltatások fejlesztése” című pályázati kiíráson, az Új Széchenyi Terv keretében. A közel 450 millió Ft összköltségű, Pér községben megvalósuló beruházás keretében egy korszerű repülőgép leszállító rendszer került bevezetésre. A projekt-megvalósítás célja a megnövekedett vevői igények kielégítése, a szolgáltatási kapacitás növelése volt. Az Európában jelenleg standardnak számító ILS leszállító rendszerrel a repülőtér korábban nem rendelkezett, ezért kedvezőtlen időjárási körülmények esetén az érkező gépeknek adott esetben kitérő repteret kell igénybe venniük. Az ILS műszeres leszállító rendszer segítségével a társaság ma már folyamatosan, az időjárási viszonyoktól függetlenül képes az érkező gépek fogadására. A beruházás összköltsége 448 000 000 Ft volt, amely jelentős mértékben javította a repülőtér használhatóságát, hozzájárult a vállalat szolgáltatási színvonalának és forgalmának növeléséhez [46].

A Győr-Pér Repülőtér Kft. a GOP-2.1.1-11/B-2012-0136 azonosító számú projektje keretében 30%-os mértékű, 25 715 614 Ft vissza nem térítendő támogatást is elnyert. Ezúttal a „Pér repülőtér technológiai fejlesztése a kapacitások és a minőségi színvonal növelés érdekében a Győr-Pér Repülőtér Kft-nél” című pályázatával ugyancsak az Új Széchenyi Terv keretében 2013-ban. A közel 86 millió Ft összköltségű, Pér községben megvalósuló beruházás keretében egy korszerű röntgenberendezés, egy fékhatás-mérő berendezés és egy önjáró repülőgép jégtelenítő került beszerzésre. Az eszközök beszerzésének célja a repülőtér technológiai fejlesztése, a szolgáltatási kapacitás növelése volt. A teheráru gyors biztonsági átvizsgálásához immáron az új röntgenberendezés nyújt megoldást. Téli időjárási viszonyok esetén a korszerű repülőgép jégtelenítő- és fékhatás-mérő berendezés növeli a repülés biztonságát, valamint a járatkiszolgálás színvonalát. A beruházás



összköltsége 85 718 717 Ft volt, amely jelentős mértékben javította a repülőtér használhatóságát, hozzájárulva a vállalat szolgáltatási színvonalának és forgalmának növeléséhez [47].

A Győr-Pér repülőtér Magyarországon elsőként szerzett az Európai Unió követelményeknek megfelelő működési engedélyt. Ennek megfelelően 2018 januárjától kezdve az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség (EASA) által meghatározott szabályzórendszer alapján üzemel a repülőtér. Az EASA tanúsítás célja, hogy az abban résztvevő repülőterek infrastruktúrája és üzemeltetése egységesen a 139/2014 EU rendeletben megfogalmazott követelmények alapján a legmagasabb repülésbiztonsági prioritásoknak feleljen meg. A repülőtér jelentős erőforrásokat fordított az újraengedélyezési eljárás lefolytatásához. Felülvizsgálatra került a teljes infrastruktúra, beleértve a futópályát, a guruló utakat, a forgalmi előtereket, a kiegészítő berendezéseket. Külön eljárás részeként újra engedélyezésre került az üzemeltetéshez szükséges minden egyes feltétel, beleértve az ellenőrzési és karbantartási eljárásokat, a tűzoltószolgálat működését, a kényszerhelyzeti feladatok ellátását, a repülésbiztonsági eljárásokat, és a kötelező oktatások rendszere is. Ennek során létrehozásra került egy a működés folyamatait összegző repülőtér Üzemeltetési Kézikönyv is. A felkészülés alatt a repülőtér folyamatos munkakapcsolatot tartott fenn a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium Légiforgalmi és Repülőtéri Hatósági Főosztályának szakembereivel, akik a benyújtott dokumentációk és helyszíni szemlék során ellenőrizték a megfelelőség teljesítésének feltételeit. A repülési iparágba vetett bizalom alappillére a biztonság. A Győr-Pér repülőtér EASA tanúsítása nagymértékben hozzájárul ahhoz, hogy a repülőteret igénybe vevők számára az üzemeltető az európai sztenderdeknek megfelelő szolgáltatási minőséget biztosítson, folyamatosan szem előtt tartva a repülésbiztonság elsődleges prioritását [48].

A repülőtér csak a 2016. októberi hónap során közel ötven alkalommal szolgált ki autóiipari alkatrészeket szállító ad- hoc teher járatokat. Ezen szállítási formánál kritikus, hogy az áru a lehető leghamarabb érjen rendeltetési helyére. A rugalmas nyitvatartásnak és kiszolgálásnak köszönhetően a repülőtér üzemeltető rövid forduló időt biztosít az érkező gépek számára. A repülőtér légi szállítási stratégiája ezáltal kedvező feltételeket biztosít a régióban működő autóiipari vállalatok számára, hogy ezzel segítse a piaci helyzetük folyamatos javítását [49].



5. kép A Rose Air – teherszállítással foglalkozó légitársaság An-26 típusú szállítógépe a Győr-Péri repülőtéren [50]

A Győr-Pér repülőtéren landolt 2017.január 17-én este a Rose Air – teherszállítással foglalkozó légitársaság An-26 típusú szállítógépe. Az egyedi cápa fogas festéssel rendelkező gép szerepelt a Feláldozhatók c. mozifilmben is. Ezúttal áruval a fedélzetén érkezettek a repülőtérré. A földi kiszolgálás során az áru mozgatásán kívül, üzemanyag tankolásra is sor került. A személyzet - pihenőidejét követően – másnap indultak tovább következő úti céljuk felé [50].

A Győr-Pér repülőtér fokozott figyelmet fordít a különleges igények, elvárások maradéktalan kiszolgálására. Vezeték nélküli internetkapcsolattal ellátott, kényelmes váróterem áll az utazók rendelkezésére. A csomagok biztonságáról és épségéről tapasztalt kiszolgáló személyzet gondoskodik.

„Just in time” – Számos iparágban egyre fontosabb, hogy egy adott alkatrész, alkotóelem pontos időben érkezzen a megfelelő helyre. Ennek megvalósításában jelentős szerepet játszik az egyedülállóan gyors, pontos és biztonságos légi szállítás. A Győr-Pér repülőtér ehhez nyújt optimális megoldást, mivel a kiépített infrastruktúra és a hatékony földi kiszolgálás segítségével az áru szinte idővesztés nélkül kerül a repülőgépre vagy teherautóra.

Az üzemanyag nélkülözhetetlen a repüléshez, ezért az év minden napján készen állunk a légi járművek feltöltésére. Jelenleg JET A1 (teljes kapacitás: 56 000 l) és AVGAS 100 LL (teljes kapacitás: 15 000 l) tankolására van lehetőség. Két tartályautónk gyors és rugalmas kiszolgálást tesz lehetővé. Az üzemanyag mellett AeroShell W100 és AeroShell W15W50 motorolajok állnak rendelkezésre a dugattyús motorokhoz.

Zord téli időjárási viszonyok között a repülőgép felületeire hó és jégréteg rakódhat le, amely veszélyezteti a repülés biztonságát. Hatékony megoldást kínál a problémára Vestergard Elephant Sigma típusú speciális jégtelenítő járművünk, amely egyaránt alkalmas De-icing és Anti-icing folyadék alkalmazására is. Szolgáltatásunk lehetővé teszi a zavartalan járatkiszolgálást télen is. Fedélzeti ellátás céljából étel és ital rendelésére van lehetőség – előzetes egyeztetést követően. A sztenderd húsos és vegetáriánus szendvicseken túl exkluzív tálalású canape, gyümölcs és desszert tálak is választhatóak. A gondos szervezésnek köszönhetően mindig friss, minőségi catering kerül a légi jármű fedélzetére [51].

## HÉVÍZ-BALATON AIRPORT

A repülőtér már az 1950-es évektől katonai célú reptérként működött, 1991-től kezdve üzemel polgári repülőtérré. Története röviden a következő főbb pontok mentén vázolható fel [52]:

- ➔ az orosz kivonulás után a Mikromatika Holding vette bérbe a repülőteret és elkezdte a polgári hasznosíthatóság érdekében szükséges átalakításokat;
- ➔ 1995 tavaszán az üzemeltetést átvette a Sármellék-Zalavár Airport Kft.;
- ➔ 2004-ben a regionális reptérfejlesztési alapból és a Balatoni Fejlesztési Ügynökség részéről a repülőtér 300 + 65 millió Ft-os támogatásban részesült, amelyből megvalósíthatott a 24 órás működéshez szükséges fejlesztések egy része;
- ➔ az ír-magyar érdekeltségű Cape Clear Aviation Kft. megvásárolta az üzemeltetési jogot és mintegy 3 milliárd Ft-nyi további beruházást hajtott végre (utasterminál, cargoterminál építése);

- 2009-ben a repülőtér üzemeltetője és az beruházások tulajdonosa, a Cape Clear Aviation Kft. ellen felszámolási eljárás indult. Az érintett tulajdonjog a felszámoló, a Vectigalis Zrt-re szállt át;
- 2010-2011 során a FB Airport Kft. (SCD Group) üzemeltette a repülőteret;
- 2012 márciusától a Hévíz város önkormányzatának 100%-os tulajdonában álló Hévíz-Balaton Airport Kft. üzemelteti és bérlő az ehhez szükséges területet és ingatlanokat az érintett önkormányzatoktól (Zalavár és Sármellék) továbbá a Vectigalis Zrt.-től.

A korábbi üzemeltető FB. Airport Kft. 2011. november 28-án felszámolási eljárás alá került. A repülőtér 2011. november 05-től zárva tartott. Az üzemeltetés feltételeit az üzembentartó már nem tudta biztosítani. A szükséges időszakos karbantartások nem kerültek elvégzésre. 2011. november 25-én a fegyveres őréség és az utas biztonsági szolgálat levonulásával pedig az üzemi terület elvesztette sterilitását. Az üzemeltetéshez szükséges tevékenységek egy részét végző alvállalkozók, tekintettel a kialakult pénzügyi helyzetre szerződéseiket felmondták, a munkavállalókat elbocsátották. A tulajdonos Önkormányzatokkal repülőtér üzemi területére korábban kötött bérleti szerződés a felszámolás elrendelésével a szerződés értelmében megszűnt. A repülőtér üzemi területe feletti rendelkezési jog visszakerült az tulajdonos Önkormányzatok kezébe. A repülőtér vagyonelemeit az FB Airport Kft. állományban maradt fizikai munkavállalói őrizték az fegyveres őréség levonulását követően. az FB Airport Kft. Nemzeti Közlekedési Hatóság Légügyi Hivatala által kiadott üzembentartási engedélye 2011. december 31-én lejárt. Hévíz Város Önkormányzata, mint egyszemélyes tulajdonos 2012. március 21-én alapította meg a Hévíz-Balaton Airport Kft-t azzal a céllal, hogy üzemeltetésbe vegye a korábban FlyBalaton repülőtér néven működő sármelléki repülőteret. A repülőtér 2012 évtől Hévíz-Balaton repülőtérként folytatja működését [53].

A Hévíz-Balaton Airport repülőteret üzemeltető cég Hévíz Város Önkormányzatának 100%-os tulajdonában áll. Az összesen 400 hektáros földterületet, amelyen a reptér elhelyezkedik, Sármellék és Zalavár önkormányzata birtokolja, az üzemeltető tőlük bérlő. Magántulajdonban van a kiszolgáló épületek jelentős része és a bennük lévő technika is. Mint ismert, a Széles Gábor érdekességébe tartozó SGH Aviation Hungary Kft. 2014 őszén vásárolt reptéri eszközöket a légikikötőt korábban üzemeltető, felszámolás alá került cégtől, ezeket a tárgyakat pedig bérbe adja az üzemeltetőnek [54].

	2013	2014	2015	2016	2017
Értékesítés nettó árbevétele	286 195	326 822	184 932	192 176	167 956
Üzemi eredmény	-27 755	4914	-29757	3635	10 997
Adózás előtti eredmény	-30 502	2177	-31 530	1263	8987
Mérleg szerinti eredmény	-31 122	1434	-32 123	-	-
Adózott eredmény	-31122	1434	-32 123	519	8539

6. táblázat A Hévíz - Balaton Airport Kft. főbb eredmény adatainak alakulása, adatok ezer forintban [55]

A repülőteret üzemeltető társaság 2013-ban és 2015-ben veszteséges volt, 2016 óta azonban nyereségesen működik.

A teljes üdülőkörzetet nézve a Hévíz továbbra is torony magasan vezeti a mezőnyt. A fürdőváros a 2017-ben realizált 1 130 157 vendégéjszakás forgalma hét százalékkal haladja meg a 2016-os eredményt és egyben öt százalékkal nagyobb növekedést produkált a régió egészénél. A szállodákban, panziókban megszálló vendégek éjszakáinak száma 74 ezerrel volt nagyobb a

korábbi évinél. A külföldiek által eltöltött 697 162 vendégéjszaka 9,4 százalékos növekedést jelez az előző évhez képest [56].



6. kép Hévíz-Balaton Aiport [57]

A Hévíz-Balaton Airport közelsége az ország leglátogatottabb turisztikai attrakcióihoz nagyban hozzájárul a repülőtér fenntartható üzemeltetéséhez. A kiemelkedő átlagos tartózkodási időt felmutató gyógyfürdők az egész éven át tartó légiforgalmat is biztosítani tudják. 100 km-es körzetében megtalálható Hévíz (évi 1 130 157 vendégéjszaka), Sárvár (évi 484 142 vendégéjszaka), Bükfürdő (évi 741 518 vendégéjszaka) valamint Zalakaros (évi 553 678 vendégéjszaka), mely városok vendégforgalmának nagy része Németországból érkező átlag 10 napos tartózkodási idővel bíró gyógyvendég. 10 km-re a repülőtértől a Balaton térsége a nyári időszakban szezonálisan jelent keresletet az üdülő vendégek irányából. A Balaton külföldi vendégforgalmának legnagyobb része szintén Németországból utazik a térségbe, így számukra is kedvező alternatíva lenne a légi közlekedés. A térség három legjelentősebb vendégforgalmat lebonyolító városának vendégforgalma 2017-ben – Siófokon 706 774 vendégéjszaka, Balatonfüreden 693 562 vendégéjszaka és Keszthely 223 674 vendégéjszaka. Összegezve a Balaton és a Nyugat-magyarországi fürdővárosok turisztikai vonzerjét, a főváros vendégforgalmát meghaladó éves forgalmat kapunk, melynek nagy része a földrajzi távolságok miatt igényli a légi közlekedés lehetőségét. A külföldi versenytársak megközelíthetőségét figyelembe véve kulcsfontosságú, hogy a térség légi úton is, 1–2 óra alatt kényelmesen elérhetővé váljon. Ellenkező esetben a leendő vendégeink más úti célokat fognak választani, amelyek könnyebben megközelíthetők. Hévíz 2017-ben 1,1 millió vendégéjszaka felett teljesített, ebből 697 162 volt a külföldi vendégforgalom. A repülőtér – amely ma is képes lenne évi 150 ezer utast kiszolgálni – a városnak is segíthetne a tovább fejlődésben. A 7. táblázatból jól látszik, hogy azokban az években 2006-ban, 2007-ben és 2008-ban nőtt dinamikusabban a légiforgalom, amikor menetrendszerinti járatokat és fapados járatokat is tudott fogadni a repülőtér a charter járatokon kívül. A gazdasági világválság erősen érzékeltette a hatását a légiközlekedésben is, melynek hatására a fapados járatokat üzemeltető társaság kivonult Magyarországról. Ez okozta a 2009-es évi visszaesést. 2009 óta gyakorlatilag charter járatokat fogad a repülőtér.

Év	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Ezer fő	25	62	105	102	15	14	18	19	25	29	16	18	13

7. táblázat A Hévíz-Balaton Airport utasforgalmának alakulása [24]

A járatok foglaltsága egyelőre a válság előtti szinten stagnál. Jelentős visszaesést okozott 2014 után az orosz járatok és utasok elmaradása, miután a bécsi repülőtéren jelentősen bővítették az orosz járatok számát [58].

A Hévíz-Balaton Airportról 2018-ban nincs kiutazó járat, mert a Törökország iránti bizonytalan kereslet miatt ebben az évben a nyáron nem indul innen charter (a korábbi a Green Travel üzemeltette). Annál élénkebb a beutazó forgalom, 2018-ban összesen 60-70 közötti charter érkezik a reptérre. A szezonban a PA Touristik járatai közlekednek német útvonalakon, a gépek befogadóképessége 90 fő. A volt kelet-német területekről 150 férőhelyes Germania-járatok érkeznek, míg a Lufthansa Airbus A319-es, 130 férőhelyes gépekkel repül. Az indulási állomások Berlin, Drezda, Düsseldorf, Erfurt, Frankfurt, Hamburg, Lipcse (lásd a 6. táblázatot). Ezek közül csak a frankfurti járat közlekedik menetrend szerint 2018. április 7. és október 13. között, a többi charter. A legnépszerűbb útvonal a frankfurti és a düsseldorfi, a legnagyobb kapacitás a Germania légitársaságé. A beutazó forgalomban 2012 óta 27–35 ezer között mozgott az utasszám, a reptér 2018-ban 25 ezer utasra számít, akik 99%-ban külföldiek. Mintegy 10 ezer vendég szervezett csoportos út keretében érkezik, jelentős részük Hévízen száll meg, de a Balaton-parti települések is részeseülnek a forgalomból. A légi úton érkező vendégkör túlnyomó része jellemzően 2–3 hetes gyógykúrákon vesz részt. A németek körében még mindig a 60 feletti korosztály dominál, de szeretnék megnyerni a fiatalokat és a családokat is. Keresik az új küldőpiacokat, a város ezért számos tárgyaláson és külföldi vásárokon vesz részt. Legutóbb például Tel-Avivban és Harkovban folytatott ígéretes tárgyalásokat az önkormányzat vezetése és komoly potenciált látnak a skandináv térségben is, s ezek a desztinációk a kiutazás szempontjából is érdekesek lehetnek. Folyamatosan dolgoznak menetrend szerinti járatok idecsábításán, londoni, brüsszeli, moszkvai légi összeköttetést tartanak elképzelhetőnek, és érdemesnek érzik megnyerni a lengyel piacot is [59].

Desztináció	Légitársaság	Járatok száma	Járattípus
Berlin	flybe	összesen 5 járat	charter
Drezda	Germania	összesen 4 járat	charter
Düsseldorf	flybe	összesen 15 járat	charter
Erfurt	Germania	összesen 9 járat	charter
Frankfurt	Lufthansa	heti 1 járat	charter
Hamburg	flybe	összesen 4 járat	charter
Lipcse	Germania	összesen 2 járat	charter

6. táblázat A Hévíz – Balaton Airport beutazó forgalma [60]

A repülőtér Budapesttől körülbelül 170 km-re, nyugatra a Balaton közelében található, Zalavár és Sármellék községek között, közel Horvátország, Szlovénia és Ausztria határához. Évi több mint 1,2 millió beutazó turistával a Balaton régió Magyarország egyik legkeresettebb turisztikai célpontja gazdag kínálatot biztosítva a tó menti programoktól kezdődően az egyre növekvő számú gyógy és termálfürdőkön keresztül a golf, kerékpáros és egyéb szabadidős programokig. A repülőtér vonzáskörzetén belül, 4 európai főváros (Budapest, Bécs, Zágráb, Ljubljana) érhető el 2 órányi autós utazással. A repülőtér a Budapestet Zágrábbal összekötő M7-es autópályától 15 km-re található. Magyarország központi elhelyezkedéséből adódóan az ország autópályái kulcsszerepet töltenek be az európai útvonalhálózatban. Az M7 autópálya önmaga is része a Kijev-et Trieszt–el összekötő közúti kapcsolatnak, kiemelkedővé téve a repülőtér elhelyezkedését logisztikai szempontból is. Ezen tényt erősíti, hogy a repülőtér közvetlen közelében üzemképes vasúti pálya is található. A repülőtér ideális elhelyezkedéséből adódóan nagyszerű lehetőségekkel rendelkezik az utasforgalmi igények kiszolgálásán túl a légi áruszállítás területén is. A rendelkezésre álló szabad területek lehetővé teszik logisztikai cégek közvetlen betelepülését és alkalmassá teszik a repülőtér egy légi áru elosztó központ kialakítására [53].

Nemcsak a régió multimodális közlekedési csomópontjává, de logisztikai szolgáltató központtá és iparterületté is válik a sármelléki repülőtér környéke, ha végrehajjták a most előirányzott fejlesztéseket. Kormányhatározatban nevesítették a Hévíz Balaton Airport, valamint a kialakítandó sármelléki zalavári iparterület fejlesztését, de a kezdetben megjelölt ötmilliárdos, majd 6,6 milliárdra emelt összeg csupán keret, amit fejlesztési pályázatok elnyerésével lehet felhasználni [61]. A fejlesztés rövid távú célja, hogy fejlődjön a személyszállítás, valamint a légi áruszállítás. A távolabbi célok között szerepel, hogy a balatoni forgalom mellett a régió nagyvárosainak és ipari üzemének logisztikai szolgáltatójává váljon Sármellék. Tágabb értelemben egész Nyugat-Magyarország nemzetközi légikikötőjeként tekinthetünk rá. a közeli tervekben nem szerepel a meglévő út fejlesztése, de ha a reptéren évente több mint 300 ezer utas fordul meg, indokoltá válik annak magasabb szintű bekapcsolása az M7-es autópályába. Először a Balatonszentgyörgy-Keszthely-Hévíz elkerülő közötti kapcsolat fejlesztését hajtják végre. Ezt követően meghosszabbítják a futópályát, fejlesztik a repülést segítő technikákat, hó- és jégmentesítő berendezéseket szereznek be, bővítik a hangárokat és az utasterminált a repteret körülvevő külső területeken is jelentős munkák szükségesek. El kell bontani az egykori szovjet laktanya épületeit, és közművesíteni kell. A talaj kármentesítését már elvégezték, és ha rendbe hozzák a területet, akkor 200 hektár ipari park jöhet létre, egy új logisztikai központ, amelynek közúti, vasúti és légi kapcsolata is lesz. Ez kiválóan alkalmas lehet logisztikai szolgáltatók megtelepedésére utóbbi iránt már több cég jelezte érdeklődését. De nő a repülőtér jelentősége a környező gyárak és ipari parkok miatt is. Zalaegerszegen folyamatban van például egy különleges, úgynevezett önvezető jármű ipari park beruházás, ennél a fejlesztésnél is eleve számoltak a reptér közelségével.

### PÉCS-POGÁNY REPÜLŐTÉR

A repülőtér története egészen 1907-ig nyúlik vissza. Pécs városának lakói először az akkor megrendezésre került mezőgazdasági kiállításon találkoztak légijárművel, ami egy hidrogénnel töltött léghajó volt. Az első világháború után kijelölték a repülőtér helyét, ami a mai Uránváros helyén terült el. Az 1920-as évek második felében, már rendszeresen szálltak fel repülőgépek innen. 1929-től, az akkor még titokban szerveződő légierő is telepített ide felderítő repülőgépeket, később pedig egy repülőszázad állomásozott a repülőtéren Vörös Kakas néven. A második világháború után 1946. augusztus 1-én a Közlekedési Minisztérium hatáskörébe került a sportrepülés, és vele a Pécsi Repülőtér is. 1947-től Magyar-Szovjet Polgári Légiforgalmi Részvénytársaság, a MASZOVLET beindította Budapest-Pécs menetrendszerinti járatait, Li2P típusú gépekkel. 1948-ban megalakult a Pécsi Vasutas Sportrepülő Egyesület, ám a hatóságok, a határ közelsége miatt betiltották a repülést. A belföldi légi forgalom tovább bővült, amikor 1952 áprilisában beindult a Szeged-Pécs járat is. 1953. szeptember 26-án újra engedélyezték a sportrepülést Pécsen, megalakult a Pécsi MÁV Lokomotív Repülőklub, így megkezdődhetett mind a vitorlázó, mind a motoros repülés. A belföldi légi közlekedés vonzó jegyárai egyre több utast eredményezett. 1954. október 4-től beindult, a Budapest-Pécs-Kaposvár járat is. Az 1955-ös évtől a repülőtér közelében egyre több emeletes ház épült, ami jelentősen befolyásolta a repülést, így 1956 tavaszán a korábbi repülőteret megszüntetve egy újat alakítottak ki, a belvárostól 10 km-re, délre, Pogány falu határában lévő réten. Itt kerültek kialakításra fogadóépület, irodák, hangár, majd üzemanyag tároló is. A rendszerváltásig sport és hobby repülőtér volt, a rendszerváltás után már mezőgazdasági célokat is szolgált, de 1994 április óta légimentőbázis is üzemel itt. Az önkormányzati tulajdonban lévő repülőtér, az elmúlt években jelentős fejlődésen ment keresztül, hiszen 2003 áprilisától



kezdődően megépült egy 1500 m hosszú, 30 m széles aszfaltborítású futópálya, 2004-ben pedig elkészült a légikikötő fény- és navigációs rendszere. A 2005. év őszétől 2006 tavaszáig tartó időszakban épült új fogadóépület elkészültével, és átadásával egy időben, nemzetközi menetrend szerinti járatot is fogadott a repülőtér, jelezvén, hogy ezzel bekerült, a világ légi közlekedésének hálózatába. A Pécs-Pogány Repülőtér célja a régió gazdasági és turisztikai elérhetőségének erősítése, az ide érkező légi járművek és utasok kényelmes, biztonságos kiszolgálása [62].

A Pécs-Pogány repülőteret Működtető Kft. tevékenységét 1998. évben kezdte meg. A társaság alaptevékenysége: légi szállítást kiegészítő szolgáltatás. A vállalkozás korlátolt felelősségű társaságként működik, a törzstőkéjének nagysága 5 millió 100 ezer Ft. A társaság tulajdonosai belföldi jogi személyek A Pécs-Pogány repülőteret Működtető Kft. 2017. évi beszámolója 2017. december 31-i fordulónapra készített mérlege szerint az eszközök és források egyező végösszege 233 544 ezer Ft, az adózott eredmény pedig 19 900 ezer Ft (nyereség) volt [63].

Név	Cím	Tulajdoni hányad (%)
Pécs Megyei Jogú Város Önkormányzata	Tulajdonosi joggyakorló BOKOM Nonprofit Kft.	58,80
Magyar Állam	Tulajdonosi joggyakorló Magyar Nemzeti Vagyonkezelő Zrt.	41,20

6. táblázat A Pécs-Pogányi repülőteret Működtető Kft. tagjainak adatai [63]

A Magyar Nemzet értesülései szerint a kormány várhatóan megmenti az önkormányzati konszolidáció ellenére újabb 7,5 milliárd forintos működési hiányt felhalmozó pécsi önkormányzatot, ám cserébe átvinné a pécsi önkormányzattól a Pécs-Pogány repülőteret, melyet nyomban használatba is adna a Paks II-t építő Roszatomnak. Az orosz cég a paksi bővítéshez szükséges ipari és magáncélú légi forgalmat bonyolítaná le a reptéren [64].

A Magnus Aircraft Zrt. repülőgépgyára 2018 nyár végére fog elkészülni a pécs-pogányi repülőtér szomszédságában. Az 5,16 milliárd forintos beruházással felépülő létesítmény alapkövét 2017. augusztus végén rakták le. Első ütemben egy 2000 m<sup>2</sup> alapterületű összeszerelő-üzemet és irodaépületet alakítanak ki. A cég közlése szerint a létesítmény legkevesebb 105 embernek ad majd munkát, évente minimum 200 repülőgépet fog gyártani. Az összeszerelő üzem elkészültét követően, a második ütemben egy 5000 m<sup>2</sup>-es kompozitüzem építését is tervezik. A magyar kormány a beruházáshoz 2 milliárd forint vissza nem térítendő támogatást ad.



7. kép A Magnus Aircraft Zrt. épülő repülőgépgyára a pécs-pogányi repülőtér szomszédságában [65]



A Magnus Aircraft a világon először fejlesztett ki kompozit anyagokból készülő kétülékes repülőgépet, amely műrepülésre alkalmas. Emellett kifejlesztett egy olyan gépet, amely nem ke-rozinnal, hanem benzinnel működik, és szintén kompozit anyagból készült; így alacsonyabb a környezetterhelése és fenntartási költsége, mint más repülőeknek.

Kétségtelen az, hogy a baranyai megyeszékhely és a térség akkor tud „feljebb lépni”, ha növeli gazdasági erejét, potenciálját a „jövőiparágak” kínálta lehetőségek kihasználásával, mint amilyen a repülőgépgyártás is. A Magnus Aircraft jövőorientált gondolkodása más vállalkozások számára is példát mutathat. A beruházás nyomán a pécs-pogányi repülőter fejlesztése is olyan irányba fordulhat, hogy ki tudja szolgálni a régiót, és a város végre felkerülhet az európai légitérképre [66].

### A MODERN VÁROSOK PROGRAM KERETÉBEN MEGVALÓSULÓ FEJLESZTÉSEK

A vidék fejlődésének kulcsa a vidéki városok fejlődése, ezért a kormány létrehozta a Modern városok elnevezésű programot. A Modern Városok Program egy olyan történelmi elmaradást kíván pótolni, amely révén immáron évszázados lemaradásunk egyes főbb dimenziók esetében csökkenthetővé válnak. A rendelkezésre bocsátott források révén olyan fellendülés kezdődhet a településeken és térségükben, amilyenre a reformkorban volt lehetőség utoljára. Emellett a program másik legfontosabb célja, hogy növelje Magyarország munkaerő megtartó képességét azáltal, hogy minél élhetőbb, biztonságosabb, versenyképesebb városaink lesznek. A Magyar Kormány 2015. március és 2017. június között a Modern Városok Program keretében 23 megyei jogú város önkormányzatával kötött együttműködési megállapodást (67). A Modern Városok Program keretében 5 megyei jogú városban kerül sor helyi regionális repülőter fejlesztési projektek támogatására:

- a Debreceni Nemzetközi Repülőter technikai fejlesztésére, ennek keretében új II. kategóriájú műszeres leszállító rendszer (ILS) kiépítésének és fenntartásának támogatására (1038/2016. (II.10.) Korm. határozat);
- a Székesfehérvár-Börgönd repülőter és ipari terület fejlesztési lehetőségeinek megvizsgálására (1038/2016. (II.10.) Korm. határozat);
- a kecskeméti repülőter közös felhasználású (katonai-polgári) célú használatára irányuló fejlesztési tervek megvalósításának, ennek keretében cargobázis kialakításának feltételrendszerének megvizsgálására, amely alapján javaslat készül a Kormány részére a kecskeméti repülőter közös felhasználású katonai és polgári repülőterre történő fejlesztését szolgáló további intézkedésekre (1131/2016. (III.10.) Korm. határozat);
- a békéscsabai repülőter futópályájának meghosszabbítására, illetve a repülőter egyéb műszaki fejlesztésére vonatkozó tervek megvizsgálására, amely eredményeként javaslat készül a fejlesztések megvalósításának támogatására (1283/2016. (VI.7.) Korm. határozat);
- a szegedi városi repülőter további működéséhez szükséges fejlesztési lehetőségek vizsgálatára, és az alapján javaslat készítésére a fejlesztések támogatása érdekében szükséges intézkedésekre a Kormány számára (1151/2017. (III.20.) Korm. határozat).

## A HUNGAROCONTROL PROJEKTJE KERETÉBEN MEGVALÓSULÓ FEJLESZTÉSEK

Önálló pályázóként a HungaroControl 85%-os támogatási intenzitás mellett, közel 700 ezer euró értékben nyert pályázati támogatást az Implementation of PBN procedures in Hungary (PBN4HU) elnevezésű projekt megvalósításához. A projekt keretében hét polgári és három katonai repülőtéren valósulhat meg a teljesítményalapú eljárások megtervezése, a Performance Based Navigation (PBN). Az eljárás megvalósulása révén lehetővé válik a műholdas megközelítések kivitelezése, a projekt további részeként pedig egy nemzeti GNSS- (GPS, Galileo és GLONASS) jelmérő és -feldolgozó hálózat kiépítése is. A tervezett feladat elvégzése a HungaroControl Zrt. több osztályát is érinti. Az eljárás-tervezők, a pénzügyi, jogi és műszaki fejlesztési szakemberek mátrixstruktúrában fognak együttműködni annak érdekében, hogy a projekt két és fél éves időtartama alatt megtervezésre és publikálásra kerüljenek a műholdas navigációs eljárások az érintett repülőtereken (Békéscsaba, Debrecen, Győr-Pér, Kecskemét, Nyíregyháza, Pápa, Pécs-Pogány, Sármellék, Szeged, Szolnok), valamint beüzemelésre kerüljön a monitorrendszer. A projektmegvalósítás ideje: 2017.09.01.–2020.02.29.

A projektben foglalt célok elérésével a társaság presztízsértékű helyet tud majd felmutatni az Európában megvalósult GNSS-alapú eljárások tekintetében: a megvalósult munka révén Franciaországgal (a kontinensünk ilyen tekintetben legfejlettebb országával) egyenrangú sűrűségben lesznek PBN-eljárások Magyarország területén. A nemzeti GNSS- jelmérő és -feldolgozó hálózat kiépítésével és üzemeltetésével pedig a HungaroControl olyan képesség birtokába juthat, amely a GNSS-interferenciák elemzése területén egyre fontosabbá válik. Hosszú távon a közeli országok hasonló hálózataira tekintettel (pl. Blue MED FAB) további szinergiák kiaknázása is lehetségessé válhat. Több, informális és kétoldalú egyeztetés után 2017. 11. 08-án került sor a PBN4HU projekt hivatalos projektindító eseményére. A rendezvényen a HungaroControl munkatársai mellett részt vett többek között Astrid Mechel, az INEA projekthez rendelt brüsszeli kapcsolattartó, Dér Erika, a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium Légi- és Víziközlekedési Főosztály Légügyi Osztályának osztályvezetője, valamint az Európai Hálózatfinanszírozási Eszköz (Connecting Europe Facility, CEF) és a Honvédelmi Minisztérium képviselői. Jelen voltak továbbá a fejlesztésben érintett vidéki repülőterek delegáltjai, a GNSS jelmonitorozásban már tapasztalattal rendelkező nemzetközi szakemberek, valamint a BME Általános és Felsőgeodéziai Tanszékének vezető kutatói, akik a monitorrendszer üzemeltetésében szerzett jártasságukkal tudnak hozzájárulni a projekt sikeréhez [68].

## ÖSSZEGZÉS NÉHÁNY MEGÁLLAPÍTÁS A MAGYAR KÖZLEKEDÉS POLITIKA KIALAKÍTÓI SZÁMÁRA

Magyarországon több olyan regionális repülőtér található, amelyek regionális jelentőségűvé válhatnak, de jelenlegi műszaki felszereltségüknél fogva ma még kedvezőtlenebb helyzetben vannak, mint e tanulmányban említett repülőterek. E körbe tartoznak például az alábbi repülőterek:

- Békéscsaba;
- Kecskemét;

- Székesfehérvár-Börgön;
- Szeged.

Magyarország ma azon európai államok sorába tartozik, amelyek nagyon kevés jól működő, jelentős bevételt és jövedelmet generáló regionális repülőtérral rendelkezik annak ellenére, hogy Magyarországon jelenleg 121 repülőtér, illetve fel- és leszállóhely található. Ha rangsort állítanánk az Európai Unión belül, országunk a regionális repülést tekintve a lista hátsórészében állna. Kétségtelen az is, hogy Magyarország jelenlegi gazdasági és földrajzi paraméterei csupán négy-öt nagyobb és öt-tíz kisebb regionális repülőtér gazdaságos üzemeltetését teszik indokoltá. Nyilvánvaló, hogy a meglévő reptereknek csak kis százaléka lehet rentábilisan alkalmas nemzetközi légi forgalom lebonyolítására. Többek között a szilárd burkolat, valamint futópálya fény, utas biztonság, légi irányítás alapvető feltétel. A felsorolt kritériumoknak csak néhány repülőtér felel meg ma Magyarországon. Amelyik pedig megfelel, azok működése viszont nem mindig rentábilis. Ez azonban még nem lenne olyan nagy probléma az ország kis területe miatt. Ugyanis egy esetleges magasabb gazdasági fejlettség sem garantálná automatikusan sok regionális repülőtér racionális működtetését. A magyarországi repülőterek feladata nem az egymással versengés, hanem az egymás kiegészítése, kiegészítése a különböző profilú légitársaságok esetén és a közelükben lévő környezet mindenkor legfontosabb légi szállítási igényeinek a kiszolgálása. A magyar repülőterek, leszállóhelyek egy jelentős része nagyon fontos közérdekből, közhasznú feladatok ellátására jött létre. Magyarországon például 29 egészségügyi mentésre szolgáló repülőtér működik, több repülőtér oktatási és sport célokat, és több közülük jelentős gazdasági, ipari, turisztikai célokat szolgál.

Magyarországon a regionális repülőterek zömének fejlődése többnyire stagnál, és számos nehézséggel küzd. Az alábbi tényezők játszották a főszerepet abban, amelyek a fejlődés elmaradásáért leginkább okolhatók:

- **A regionális repülőterek többségénél a teljes utasforgalom jelentősen lecsökkent 2008 és 2017 között.** A korábban a legnagyobb forgalmat lebonyolító Sármelléki repülőtér utasforgalma a 2008-as 102 ezer utasról 2009-ben 15 ezer utasra esett vissza, és 2017-ben is csak alig haladta meg a 13 ezer utast. Magyarországon, ugyanezen időszakban a Liszt Ferenc nemzetközi utasszállító repülőtéren az utasforgalom és a járatválaszték rendkívül dinamikusán nőtt, amelyet a lakosság nagy része ésszerű időn belül elér. Ráadásul számos külföldi repülőtér is van a magyar határok közelében, amelyek ezt jól kiegészítik. Ezért a hazai regionális repülőterek nemzetgazdasági és közlekedési előnyei általában csekélyek.
- **A magyar regionális repülőterek jelentős versenyhátrányban működnek nemcsak a budapesti, de a szomszédos országok hasonló repülőtereikhez képest is.** Ez a versenyhátrány jelentősen csökkenthető lehetne nagyobb állami szerepvállalással például a jogszabályi feltételek, különösen az adó jogszabályok a forgalom és a piaci bővülést támogató alakításával, egyes állami szolgáltatások nem piaci alapon történő biztosításával, a fejlesztést támogató pályázatok révén. Magyarországon a közutak, a gyorsforgalmi utak jelentős fejlesztésen mentek keresztül ezáltal az elmúlt évtizedekben, ezáltal az elmaradásunk ezen területen csökkent a versenytársainkhoz képest, a vasút esetében az elmúlt években kezdődtek hasonló jelentős fejlesztések. Ugyanakkor a regionális repülőterek esetében csupán csak a működéshez elengedhetetlen fejlesztésekre jutottak források és ennek következtében ez az ágazat továbbra is leszakadóban van a versenytársaihoz képest. Emiatt a regionális repülőterek területfejlesztésben betöltött szerepe Magyarországon jóval kisebb, mint az Európai

Unió legtöbb országában, de még a környező országokhoz (Ausztria, Horvátország, Románia, Szerbia, Szlovákia) képest is jelentős lemaradásban vagyunk ezen a területen. Nagy pénzkidobás az, hogy az egyébként a légiirányításban ma még meglévő, habár egyre fogyatkozó versenyelőnyeinket nem használjuk ki és hagyjuk elsorvadni és nem élünk a regionális repülőtereinkben lévő lehetséges gazdaságfejlesztési potenciállal.

- **A legtöbb regionális repülőtéren elérhető járatok száma továbbra is kicsi.** A legtöbb regionális repülőtéren a menetrend szerinti és a charter járatokhoz tartozó útvonalak köre nagyon kicsi (és általában a hagyományos üdülési célpontokra összpontosít). Mindenesetre a vonatkozó infrastruktúra kiterjedt bővítése nem indokolható a növekvő globális légiközlekedési piac miatt. A legtöbb útvonal esetében a potenciális ügyfeleknek további repülőtereket vagy kis vállalati repülőgépeket kell használniuk.
- **A hazai regionális repülőterek által lebonyolított áruforgalom az ország fejlettségi szintjéhez képest is alacsony színvonalú.** A légi áruszállítás az utasszállításnál is nagyobb mértékben Budapest centrikus. A magyar regionális repülőterek áruszállítási teljesítménye ma még olyan elenyésző és jelentéktelen, hogy meg sem jelenik az Európai Statisztikai Hivatal hivatalos adatai között.
- **Néhány kivételtől eltekintve a regionális repülőterek az elmúlt tíz évben veszteségesek voltak.** A repülőterek közismert gazdasági sajátossága a magas állandó költségek, amelyek fedezéséhez legalább mintegy 0,5–2 millió utasforgalom elérése szükséges. Például Magyarországon működő 20 regionális repülőtér közül jelenleg csak kevés éri el ezt a küszöb értéket és a legtöbb esetében kisebb a forgalom, mint 100 ezer utas/év. Ennek következtében a regionális repülőterek döntő többsége nem képes rentábilisan működni és folyamatosan támogatásra sorul. Ez főként a repülőtér üzemeltetéséből adódó magas állandó költségeknek tudható be. A regionális repülőterek számára nagyon nehéz ezeket a költségeket fedezni az alacsony forgalom és korlátozott növekedési potenciál miatt. Az utas számok és az áruszállítás kritikus tömegének hiánya egyik fő oka annak, hogy a regionális repülőtereket a magánbefektetők általában elkerülik. A regionális repülőtér által a helyi gazdaság számára generált várható (közlekedési) előnyöket általában túlbecsülik. Ebben az összefüggésben lehetővé kell tenni, hogy a távoli repülőtéren elhelyezkedő üzleti telephelyek is előnyösek legyenek (például alacsonyabb bérek és bérleti díjak, mint a jobb közlekedési kapcsolatokkal rendelkező egységekben élők) és a közelben lévő repülőtér ma még nem a legfontosabb helymeghatározó tényező a legtöbb kis- és középvállalkozás számára. Vannak olyan példák a regionális repülőtérre, amely a közeli nagy repülőteret igénybe vevő, korlátozott számú, költséges résszel rendelkező repülőtereként működik, elsősorban a kisebb repülőgépekre történő repülési műveletek átvételével.
- **Magyarország jelenleg még nem él az EU által lehetővé tett fejlesztési forrásokkal.** Közismert, hogy számos területen az EU szigorítani igyekszik a különféle EU és állami források igénybevételét. A repülőterek és a kikötői infrastruktúra esetében azonban ez nem így van. Az Európai Bizottság 2017 májusában tette közzé a repülőterek és légitársaságok állami támogatására vonatkozó korábbi iránymutatásait módosító rendeletét. Az új általános csoportmentességi rendelet lehetővé teszi a tagállamok számára, hogy az állami támogatási intézkedések széles skáláját valósítsák meg az Európai Bizottság előzetes engedélyezése nélkül, mivel ezek az intézkedések valószínűleg nem torzítják a versenyt. Két nyilvános konzultációt követően a Bizottság mostanra kiterjesztette e rendelet

hatályát a kikötőkre és repülőterekre. Ami a repülőtereket illeti, a tagállamok az évi legfeljebb 3 millió fő utasforgalmat bonyolító regionális repülőterekbe történő közberuházásokat teljes jogbiztonsággal és a Bizottság előzetes ellenőrzése nélkül valósíthatják meg. A rendelet azt is lehetővé teszi a közigazgatási szervek számára, hogy az évente legfeljebb 200 000 fő utasforgalmat bonyolító kis repülőterek működési költségeit fedezzék. Ezek a kis repülőterek jelentősen hozzájárulhatnak a régió összeköttetésének javításához, azonban nem valószínű, hogy torzítják a versenyt az EU egységes piacán [69].

- ➔ **Egységes nemzeti repülőtér fejlesztési politika hiánya.** Előnyösebb lenne, ha a kormány és az illetékes hatóságok döntenének arról, hogy a repülőtéri kapacitások bővüljenek-e és hol. Sokkal több regionális repülőtér jön létre és fejlesztésére kerül sor, mint amennyire a közlekedés politikai célok megvalósítása miatt szükség lenne, felesleges kapacitások keletkeznek. Sokkal fontosabb lenne a meglévő és folyamatosan keletkező szűk keresztmetszetek feloldása és orvoslása. Az egységes nemzeti repülőtér fejlesztési politika révén megakadályozható lenne a felesleges kapacitások létrejötte, amennyiben a regionális intézmények repülőtér fejlesztési döntései és érdekei országos kontroll alá helyeződne. Ugyanakkor **regionális versenytársainknál Ausztriában, Horvátországban, Romániában és Szerbiában a regionális repülőterek fejlesztése kiemelt célkitűzés. A regionális repülőterek fejlesztése kulcs szerepet játszik az egyes régiók és az ország fejlesztésében.**
- ➔ **A magánszektor érdeklődésének és lehetőségeinek korlátozottsága.** Magyarországon már számos rossz tapasztalat után (Pécs, Sármellék, Székesfehérvár stb.) nincsenek komoly illúziók arra vonatkozóan, hogy új projektek finanszírozása és a meglévő repülőterek fejlesztése magánbefektetők bevonásával, részvételével, egyes esetekben sokkal hatékonyabb működést eredményezhetne. Különösen a Székesfehérvár-Börgöndi repülőtér, a Sármelléki repülőtér korábbi fiaskója intő jelek minden érdekelt számára arra vonatkozóan, hogy egy regionális repülőtér nyereséges üzemeltetése egyáltalán nem könnyű feladat.

Melyek azok a tényezők, pozitív tapasztalatok, amelyek fontosak lehetnek annak érdekében, hogy a magyar regionális repülőterek is jelentős szerepet tölthessenek be az ország a fejlettebb országokhoz való felzárkózásában:

- ➔ **Egy regionális repülőtér üzemelése további vállalkozásokat vonzhat magával,** ami a foglalkoztatottság növelésével jár együtt, azaz munkahelyteremtő beruházássá válik, növelve ezzel a város adóbevételeit (mérhető pozitív externáliák). Magyarországon az Audi telephelyválasztását nagyban befolyásolta a meglévő Győri repülőtér, a Magnus Aircraft-ét a Pécs-Pogányi repülőtér és a Mercedes gyár esetében a kecskeméti repülőtér közelsége. Míg a Wizz Air telephely kiválasztásában is kiemelkedő szerepet játszott a debreceni repülőtér a légitársaság igényeit is figyelembe vevően fejlesztett infrastruktúrája., a nyíregyházi repülőterem pedig a hosszú évek óta színvonalasan működő pilótaképzés. A befektetők telephelyválasztása kapcsán a regionális repülőterek attól függően képesek a befektetők döntését pozitív irányba befolyásolni minél inkább kedvezőbb a földrajzi elhelyezkedésük, minél nagyobb versenyelőnyt képesek ígérni azok számára a lehetséges versenytársaikkal szemben.
- ➔ **Nemzetközi példák is egyértelműen bizonyítják, hogy az AUDI által nálunk megfogalmazott igények multiplikátorhatáson keresztül további vállalatok letelepedését segíti elő.** Németország Hahn repülőtere fejlődésének eredményeképpen a

repülőteret és közvetlen környezetét tíz éve alatt közel száz új cég választotta székhelyének. Az angliai John Lennon repülőtér esetében 100 új vállalatot vonzott a repülőtér, míg a franciaországi Grenoble regionális repülőtere közel 3300 vállalat elsőszámú repülőterévé lépett elő [70]. Összességében osztom Erdősi véleményét, miszerint a regionális repülőtereket a gazdaság fejlődése hívja életre és a kis regionális repülőtereknek viszonylagosan nagyobb regionális fejlesztő szerepe van, mint a nagyoknak, hiszen szervesen beépülnek a térségek gazdaságában

- **A vidéki repülőterek elősegíthetik a turizmus főváros centrikusságának csökkenését.**
- **A regionális repülőterek jelentős mértékben hozzájárulhatnak a beutazó turizmus fejlesztéséhez.**
- A regionális repülőterek német decentralizált modellje nemcsak veszteséges regionális repülőterek kialakulásához vezet, de egyúttal meg is akadályozza a fontos repülőterek bővítését is. Csak néhány regionális repülőtér képes gazdaságosan működni. A többség nem éri el azt a kritikus forgalmat, amely a működéséhez szükséges ezért utas kannibalizmust folytat és egymással versenyez a támogatásokért. A válasz ezekre a problémákra **az osztrák modell lehet, ahol a repülőterek tervezését országos szintre és a versenyt nagy régiók közötti szintre emelték. Mindegyik jelentős repülőtér (Salzburg, Graz, Innsbruck, Linz és Klagenfurt) nyereségesen működik és a piaci igényeknek megfelelően fejleszti infrastruktúráját.** Az osztrák állam megtartotta felelősségét a rádió kommunikációs tevékenységek, a meteorológiai szolgáltatások, valamint a határőrizeti és vámkezelési tevékenységek ellátásáért. A kormány ezen a módon támogatja a repülőtéri infrastruktúrák fejlesztésére irányuló befektetéseket tekintettel azok egyre növekvő szerepére az egyes régiók iparának és turizmusának fejlesztésében és végső soron az ország gazdaságában. Nálunk pozitív fejlemény ezen a területen, hogy az állam kedvező forrásokkal és a HungaroControl-on keresztül is támogatja egyes repülőterek esetében a repülőterek légiforgalmi irányi tásával kapcsolatos fejlesztéseit. Ugyanakkor a tovább fejlődés érdekében meg kellene vizsgálni, hogy az osztrák modellhez hasonlóan, hogy oszthatná meg az állam a légiforgalmi irányító szolgálatok fenntartásának költségeit a regionális repülőterekkel, hogy azok fejlődését, versenyképességét elősegítse [71].

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ACI (2017): European Regional Airports. Connecting People, Places & Products. Airports Council International (ACI) Europe 2017.
- [2] Erdei Tamás – Farkas József – Novoszáth Péter (1998): Repülőterek működése és fejlődése. Budapest: Dunaprint Kiadó, 1998.
- [3] Butcher, Louise (2016): Regional Airports. House of Common Library. Briefing Paper Number SN00323, 26 April 2016.
- [4] 159/2010. (V.6.) Korm. rendelet a repülőtér létesítésének, fejlesztésének és megszüntetésének, valamint a leszállóhely létesítésének és megszüntetésének szabályairól
- [5] ICAO (2004): ANNEX 14 – Repülőterek: Repülőtér tervezés és üzemeltetés.
- [6] Repülőtéri és Légiforgalmi Hatósági Főosztály (2018): Magyarországi repülőterek listája. Verzió 2.2. Kiadás dátuma: 2018.04.25.
- [7] Maracskó Média (2014): Magyarország repülőterei, url: <http://www.hungaryairport.hu/airport.php>
- [8] Magyarország repülőtereinek listája. Wikipédia a szabad enciklopédia. e-dok, url: [https://hu.wikipedia.org/wiki/Magyarország\\_repülőtereinek\\_listája](https://hu.wikipedia.org/wiki/Magyarország_repülőtereinek_listája)
- [9] Kenyeres Dénes (2006): A kecskeméti katonai repülés története a kezdetektől a Gripenig. Magánkiadás, Kecskemét, 2006 p. 440
- [10] 242/2017. (VIII.28.) Korm. rendelet a Modern Városok Program keretében megvalósuló, az állami repülések céljára szolgáló kecskeméti repülőtér közös (katonai-polgári) felhasználású repülőtérre fejlesztése érdekében szükséges beruházásokkal összefüggő közigazgatási hatósági ügyek nemzetgazdasági szempontból kiemelt jelentőségű üggyé nyilvánításáról
- [11] Jámbor Gyula (2017): Kiemelt beruházással nyilvánították a kecskeméti repülőtér fejlesztést. Magyar Idők 2017. szeptember 1. url: <https://magyaridok.hu/gazdasag/kiemelt-beruhazassa-nyilvanitottak-kecskemeti-repulo-ter-fejlesztest-2155063/>
- [12] Csengeri János (2014): A katonai repülőterek polgári – katonai felhasználás (üzemeltetés) hazai jogszabályi hátterének bemutatása. Repüléstudományi Közlemények Különszám 2014. url: [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014\\_cikkek/2014-2-14-0121\\_Csengeri\\_Janos.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014_cikkek/2014-2-14-0121_Csengeri_Janos.pdf).
- [13] Keszthelyi Gyula (2014): A katonai repülőterek közös polgári-katonai hasznosításának nemzetközi tapasztalatai, a magyarországi lehetőségek. Katonai logisztika, 22. évfolyam 1. szám 40–58 oldalak
- [14] Nemes Tamás (2016): A NATO támogató és beszerzési ügynökségének felépítése, feladatrendszere és együttműködése a magyar honvédséggel. Katonai Logisztika, 2016.2. 5–22 oldalak
- [15] MH Pápa Bázisrepülőtér. Wikipédia a szabad enciklopédia. e-dok, url: [https://hu.wikipedia.org/wiki/MH\\_Pápa\\_Bázisrepülőtér#cite\\_note-4](https://hu.wikipedia.org/wiki/MH_Pápa_Bázisrepülőtér#cite_note-4)
- [16] Bálint Ferenc (2016): Átadták a C-17 típus specifikus hangárt Pápán, avagy tető alatt a Big Mac. Kerozingős portál 2016. november 18. url: <http://www.kerozingozos.hu/2016/11/18/atadtak-a-c-17-tipusspecifikus-hangart-papan-avagy-teto-alatt-a-big-mac/>
- [17] MH 86.Szolnok Helikopter Bázis. Wikipédia a szabad enciklopédia. e-dok, url: [https://hu.wikipedia.org/wiki/MH\\_86.\\_Szolnok\\_Helikopter\\_B%C3%A1zis#cite\\_note-1](https://hu.wikipedia.org/wiki/MH_86._Szolnok_Helikopter_B%C3%A1zis#cite_note-1)
- [18] MH 86.Szolnok Helikopter Bázis nem hivatalos honlapja – lhn.hu – a képt Balogh Ákos készítette. e-dok url: <http://lhn.hu/>
- [19] A 330/2007. Korm. rendelet a határterületről, valamint a határátkelőhely területére nem határátlépés céljából történő belépés és tartózkodás szabályairól.
- [20] Repülőtéri Rendőr Igazgatóság Határrendészeti Osztály (2017): Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér 2-es Terminál Határátkelőhely Rendje. Budapest, 2017. január 13.
- [21] Nemzeti Adó- és Vámhivatal 59.1. információs füzet - Az Európai Unió külső vámhatárán működő határkirendeltségek url: [https://nav.gov.hu/data/cms390276/59.1\\_informacios\\_fuzet\\_\\_\\_Az\\_Europai\\_Unio\\_kulso\\_vamhataran\\_mukodo\\_hatarkirendeltsenek.pdf](https://nav.gov.hu/data/cms390276/59.1_informacios_fuzet___Az_Europai_Unio_kulso_vamhataran_mukodo_hatarkirendeltsenek.pdf)
- [22] Az Európai Unió Hivatalos lapja (2013): A személyek határátlépésére irányadó szabályok közösségi kódexének (Schengeni határ-ellenőrzési kódex) létrehozásáról szóló 562/2006/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet 2. cikkének (8) bekezdése szerinti határátkelőhelyek jegyzékének frissítése. 2013/C 242/02
- [23] Saját szerkesztés a Budapest Airport 2009 és 2017 közötti eredmény kimutatásai alapján
- [24] Saját szerkesztés a KSH Repülőterek forgalmi adatai alapján
- [25] Központi Statisztikai Hivatal (2017): Magyarország 2016. Nyilvántartási szám: Y/15319 Budapest, 2017. április 5.



- [26] Váczi Péter (2013): A Debreceni Nemzetközi Repülőtér regionális jelentősége. Agrártudományi közlemények 2013/51. pp. 187 – 190
- [27] Dehir (2016): Rábólintott a kormány a debreceni reptér újabb fejlesztésére. 2016.10.27. url:
- [28] <http://www.dehir.hu/debrecen/rabolintott-a-kormany-a-debreceni-repter-ujabb-fejlesztesere/2016/10/27/>
- [29] AIRPORT-DEBRECEN Kft. (2017): AIRPORT-DEBRECEN Repülőtér üzemeltető Kft. Kiegészítő melléklet a 2016. december 31-én végződő évre. 2017. február 28. p.15.
- [30] AIRPORT-DEBRECEN Kft. (2017): Jegyzőkönyvi kivonat, amely készült az AIRPORT-DEBRECEN Kft. 2017. szeptember 28. napján megtartott taggyűlésen készült jegyzőkönyvből.
- [31] Dehir (2018): Ismét túlszárnyalta előző évi utasforgalmát a debreceni repülőtér. 2018.01.16. url: <http://www.dehir.hu/debrecen/ismet-tulszarnyalta-elozo-evi-utasforgalmat-a-debreceni-repuloter/2018/01/16/>
- [32] AIRportal.hu (2018): Közel 170 ezer utas és 23%-os növekedés a debreceni reptéren az első félévben. 2018.07.05. e-dok url: <http://airportal.hu/kozel-170-ezer-utas-es-23-os-novekedes-a-debreceni-repteren-az-elso-felevben/>
- [33] Debrecen Airport (2018): A debreceni repülőtér. e-dok url: <https://www.debrecen.hu/hu/turista/debreceni-repuloter/#lg=0&slide=1>
- [34] Diószegi József (2017): A vidéki repterek is szeretnének felkerülni a cargotérképre. Ferihegyen szárnyal a légiáru-szállítás. Világgazdaság, 2017. 05. 17. url: <https://www.vg.hu/vallalatok/a-videki-repterek-is-szeretnenek-felkerulni-a-cargoterkepre-521011/>
- [35] A Kormány 1713/2016. (XII. 5.) Korm. határozata a HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zártkörűen Működő Részvénytársaságnak repülőtéri légiforgalmi irányítási szolgáltatásra való felkészülés céljából nyújtott támogatásról
- [36] Dehir (2016): Rábólintott a kormány a debreceni reptér újabb fejlesztésére. Dehir, 2016. 10.27. url: <https://www.dehir.hu/debrecen/rabolintott-a-kormany-a-debreceni-repter-ujabb-fejlesztesere/2016/10/27/>
- [37] Nyíregyházi repülőtér. Wikipédia a szabad enciklopédia. e-dok, url: [https://hu.wikipedia.org/wiki/Nyiregyhazi\\_repuloter](https://hu.wikipedia.org/wiki/Nyiregyhazi_repuloter)
- [38] Kulturinfo.hu e-dok Letöltve: 2018. július 8. url: <http://kulturinfo.hu/helyszin.gcw?id=8427>
- [39] Tréner Kft. (2018): A Tréner Kft. 2017. január 01.–2017. december 31. időszakra vonatkozó általános üzleti évet záró egyszerűsített éves beszámolója.
- [40] AIRportal.hu (2015): CEFA: Igy lehetsz a leghamarabb Wizz-pilóta. 2015. 09.10. e-dok, url: <http://airportal.hu/cefa-igy-lehetsz-a-leghamarabb-wizz-pilota/>
- [41] Szoboszlai Tibor (2017): Új hangárépülettel bővült a nyíregyházi repülőtér. Nyiregyháza.hu 2017.06.19. <https://www.nyiregyhaza.hu/uj-hangarepulettel-bovult-a-nyiregyhazi-repuloter-2017-06-19>
- [42] A képt Trifonov Éva készítette.
- [43] AIRportal.hu (2017): Elindult a Wizz Air Pilótaakadémia Nyíregyházán. 2017. 12. 20. e-dok, <http://airportal.hu/elindult-wizz-air-pilotaakademia-nyiregyhazan/>
- [44] Győr-Pér Airport honlapja. e-dok, url: <http://www.gyor-per.hu/>
- [45] Tiboldi Tibor (2008): A regionális repülőterek fejlesztésének gazdasági elemzése. Doktori (PhD) értekezés. Szent István Egyetem, Gödöllő 2008. p. 125
- [46] Győr-Pér Repülőtér Kft. (2017): Győr-Pér Repülőtér Kft. Kiegészítő melléklet a 2017. december 31-én végződő évre. 2018. március 19. p.20.
- [47] Győr-Pér Airport honlapja (2018) e-dok, url: <http://www.gyor-per.hu/uj-mukodesi-engedelyekkel-uzemel-a-repuloter.html>
- [48] Győr-Pér Airport honlapja. e-dok, url: <http://www.gyor-per.hu/ils-projekt.html>
- [49] Győr-Pér Airport honlapja. e-dok, url: <http://www.gyor-per.hu/eszkoz-beszerzes.html>
- [50] Győr-Pér Airport honlapja (2016). e-dok, url: <http://www.gyor-per.hu/just-in-time.html>
- [51] Győr-Pér Airport honlapja (2017) e-dok letöltve. 2018. július 9. url: <http://www.gyor-per.hu/kulonleges-festegu-gep-jart-a-repuloteren.html>
- [52] Győr-Pér Airport honlapja. e-dok, url: <http://www.gyor-per.hu/szolgaltatasok.html>
- [53] Csité András – Czaller László – Mike Friderika (2013): Keszthely – Sármellék ipari szolgáltató övezet fejlesztése – előzetes megvalósíthatósági tanulmány. Hétfő Elemző Központ. 2013. szeptember 28.
- [54] Hévíz – Balaton Airport Kft. 2012. I. féléves üzleti jelentése. e-dok, url: [onkormanyzat.heviz.hu/letolt/4921/952](http://onkormanyzat.heviz.hu/letolt/4921/952)
- [55] Jámbor Gyula (2015): Logisztikai központtá válik Sármellék. Magyar Idők, 2015. december 7. e-dok, url: <https://magyaridok.hu/gazdasag/logisztikai-kozpontta-valik-a-heviz-balaton-airport-206959/>

- [56] Saját szerkesztés az Opten Kft. Cégtár rendszeréből származó adatok felhasználásával
- [57] Gyórfy Árpád (2018): Átrendeződő balatoni toplistá. Turizmus.com 2018. február 19. e-dok, url: <https://turizmus.com/desztinaciok/atrendezodo-balatoni-toplista-1156187>
- [58] Hévíz – Balaton Airport honlapja e-dok Letöltve: 2018. július 10. <http://www.hevizairport.com/en/gallery/the-airport-in-pictures>
- [59] MTI (2018): Húszezerre esett vissza a sármelléki repülőtér éves utasforgalma 2017-ben. AIRportal 2018.01.11. e-dok Letöltve: 2018. július 11. url: <http://airportal.hu/huszezerre-esett-vissza-sarmelleki-repuloter-eves-forgalma-2017-ben/>
- [60] Turizmus Panoráma (2017): Felszállópályák – Vidéki repülőterek hozadéka. Turizmus.com 2017. augusztus 2. e-dok, url: <https://turizmus.com/utazas-kozlekedes/felszallopalyak-videki-repuloterek-hozadeka-1152961>
- [61] Saját szerkesztés a Hévíz – Balaton Airport 2018. évi menetrendje alapján
- [62] Lásd részletesebben a Balaton Területfejlesztési Koncepció (2014–2030) és a Balaton Területfejlesztési Stratégiai Program elfogadásáról, valamint a Balaton Kiemelt Üdülőkörzet területén a 2014–2020-as uniós és hazai forrásokból megvalósuló beruházásokról szóló 1821/2015. (XI.12.) Korm. határozat 2. mellékletét és a Balaton kiemelt turisztikai fejlesztési térség meghatározásáról és a térségben megvalósítandó egyes fejlesztések megvalósításához szükséges források biztosításáról szóló 1861/2016. (XII. 27.) Korm. határozat 2. mellékletét
- [63] Pécs-Pogány Airport honlapja e-dok Letöltve: 2018. július 10. url: <http://www.airportpecs.hu/>
- [64] Pécs-Pogányi repülőtér Működtető Kft. (2018): Pécs-Pogányi repülőtér Működtető Kft. Kiegészítő melléklete a 2017. évi éves beszámolóhoz. Pogány, 2018. 04.30.
- [65] Babos Attila (2017): A Roszatom veheti bérbe Pécs repülőtérét. Magyar Nemzet, 2017. szeptember 21. url: <https://mno.hu/belfold/a-rozszatom-veheti-berbe-pecs-repuloteret-2417979>
- [66] A képt Sóki Tamás MTI készítette
- [67] MTI (2018): Összel már termelhet a pécsi repülőgépgyár. Világgazdaság, 2018.05.30. e-dok, url: <https://www.vg.hu/vallalatok/ipar/osszel-mar-termelhet-a-pecsi-repulogetgyar-924466/>
- [68] A Modern Városok Program keretében megvalósuló repülőtér fejlesztéseket mutatja be részletesebben: Novoszáth Péter (2018): A Modern Városok Program keretében megvalósuló repülőtérfejlesztések. Repüléstudományi Közlemények, XXX. évfolyam, 2. szám pp. 25-36
- [69] HungaroControl (2017): Hét polgári és három katonai repülőtér fejlesztésére kerül sor. HungaroControl 2017. november 9. e-dok Letöltve: 2018. július 7. url: <https://www.hungarocontrol.hu/sajtoszoba/hirek/pbn4hu>
- [70] A BIZOTTSÁG (EU) 2017/1084 RENDELETE, (2017. június 14.). A 651/2014/EU rendeletnek a kikötői és repülőtéri infrastruktúrákra irányuló támogatás, a kultúrát és a kulturális örökség megőrzését előmozdító támogatásra és a sportlétesítményekre és multifunkcionális szabadidős létesítményekre nyújtott támogatásra vonatkozó bejelentési határértékek, továbbá a legkülső régiókban biztosított regionális működési támogatási programok tekintetében, valamint a 702/2014/EU rendeletnek a támogatható költségek összegének meghatározása tekintetében történő módosításáról.
- [71] Erdősi, F. (1999) Légi közlekedés és területi fejlődés, Tér és Társadalom, 13 (4), o. 45-76. doi: 10.17649/TET.13.4.543.
- [72] Novoszáth Péter (2008): Development of regional airports on Danube Area: On the basis of German, Austrian, Hungarian, Serbian and Romanian examples In: Lajos Veres (szerk.) Danube-Area Cohesion: I. EU Interregional International Scientific Conference. 302 p. Konferencia helye, ideje: Dunaújváros, Magyarország, 2007.07.04-2007.07.05. Subotica: Cikos Stampa, 2008. pp. 129-138.

### THE ROLE AND DEVELOPMENT OF REGIONAL AIRPORT IN HUNGARY

*Airport regions have become engines of primary economic growth in the XX. Century. The dynamic development of some regions is behind a well-established regional development strategy that is both capable of serving local and global transport goals. In many cases it is unavoidable to involve local resources in development, which can trigger demand-generating demand in the region. The operation of state-of-the-art infrastructures, the employment of the local labour force, is one of the primary objectives of all political forces. However, the opportunities offered by aviation are almost unique, which also allows the gradual utilization of the European Union's potential. There are connections between countries, regions and cities that can be key elements of European development and the catching up of regions. Countries with well-established regional airports prefer those where only the capital can be approached by air. The aim of my paper is to present what kind of lessons can be drawn to decision-makers influencing Hungarian regional airport developments based on our research in this area.*

**Keywords:** *common-use (military-civil) airports, increasing the competitiveness of rural regions, regional development, regional airports, territorial developments*

---

Novoszáth Péter (CSc)  
Egyetemi docens  
Nemzeti Közszerológati Egyetem  
Államtudományi és Közigazgatási Kar

Közpénzügyi Kutatóintézet  
Novoszath.Peter@uni-nke.hu  
orcid.org/ 0000-0002-8755-6858

Peter Novoszath (PhD)  
Associate professor  
National University of Public Service  
Faculty of Science of Public Governance and Administration  
Research Institute of Public Finance  
Novoszath.Peter@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-8755-6858

---



<http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2018.pdf>

---

Szilvássy László

## METEOR RAKÉTA

*A szerző bemutatja a világ legjobbjának tartott nagy hatótávolságú (BVR – Beyond Visual Range), aktív lokátor önirányítású légi harc rakétáját, mely 2016-ban állt rendszerbe. Elméleti alapokkal is biztosítja a rakéta működésének könnyebb megértését, bemutatja a rakétahajtóművek működését, valamint rendszertechnikai szempontból csoportosítja az irányítható rakétákat.*

**Kulcsszavak:** Meteor, BVRAAM, Beyond Visual Range, Air to Air Missile, nagy hatótávolságú légi harc rakéta, aktív lokátor önirányítás.

## BEVEZETÉS

Már évek óta foglalkoztat a Meteor rakéta. Nagyon sokáig nagyon kevés nyílt információ volt fellelhető, az is nagyon sokszor ellentmondásokat tartalmazott. Az első hírek a rakéta fejlesztésével kapcsolatban a 2000-es évek elején bukkantak fel katonai és repülőtechnikával foglalkozó szaklapokban. A 2008-ban záróvizsgázott hallgatóimmal már valamilyen szinten feldolgoztuk a fellelhető információkat, de az azóta eltelt években – mivel 2012-től megkezdődött, több országban is a rendszerbe állítása – egyre több használható leírás született a rakétáról és természetesen annak egyik rendhagyó eleméről a hajtóműről.

A kutatásaim során talákoztam olyan szalagcímmel is mint például: az „MBDA Meteor rakéta a világ legfejlettebb látóhatáron túli rakétája” (MBDA’s Meteor – The Most Advanced Beyond-visual-range Air-to-Air Missile in the World) [1] vagy „Japán és az Egyesült Királyság egyesített erővel dolgoznak a világ legjobb levegő-levegő rakétáján” (Japan, U.K. Joining Forces to Make the World's Best Air-to-Air Missile) [2] vagy a Daily Mail Online India cikke „A Meteor rakéta visszaállítja India légifölényét a térségben” (Meteor missile deal set to win back India's aerial supremacy against rivals) [3]. A The National Interest cikkének címe viszont a legsokatmondóbb „A világ legjobb repülő-gyilkos rakétája szolgálatba állt (és nem amerikai)” (The World's Best Aircraft-Killer Missile is Now in Service [And Its Not American]) [4]. Ennek a címnek a vége ami figyelemre méltó, mert kihangsúlyozza, hogy nem amerikai eszközről van szó. Ez valószínűleg nagyon fontos információ, mert rendre amerikai fegyverfejlesztésekről szólnak a szakmai újságok.

## A RAKÉTA FEJLESZTÉSE

A Meteor program évek óta az egyik legfontosabb mozgatórugója az európai fegyverfejlesztésnek. A rakéta kifejlesztése, rendszerbe állítása és megjelenése a nemzetközi fegyverpiacon Európát potenciális vetélytárrá emelte az Egyesült Államokkal szemben az európai kontinensen kívüli piacokon is. A fejlesztés legelső lépését 1994-re lehet tenni, mikor az Egyesült Királyság

Védelmi Minisztériuma (MoD) kiadott egy RFI<sup>1</sup>-t. A tervezés 1995-ben kezdődött, de nagyon sok üzleti szempontból kockázatos elemet tartalmazott, ennek következtében a tárgyalások és a résztvevő cégek bevonása 2000-ig elhúzódott. Közben az Egyesült Államok is lobbizott, hogy az AIM-120 rakétához, jó üzleti feltételeket kínálva az értékesítéshez, megfélemezze a tárgyalásokat. Végül 2000. májusában az Egyesült Királyság védelmi minisztere tette meg a bejelentést, hogy a Meteor programot elindítják. Az MBD – Matra BAe [5] Dynamics vezérigazgatója a következőket mondta a bejelentés után „*Ez a döntés történelmi mérföldkő az európai védelmi képességek létrehozásában: Európa első alkalommal szereli fel vadászpilótáját egy európai levegő-levegő rakétával, amely interoperabilitást és függetlenséget hoz létre az exporthoz*” [6]. A bejelentés időpontjában a várható rendszerbeállítási dátum 2008 volt [6]. Mivel több európai ország több hadiipari cége vett részt a projektben, így a csúszás prognosztizálható volt. Végül 2002. decemberében Németország is jóváhagyta a programot. Az évek alatt bekövetkezett változások pl. az olasz Finmeccanica vállalat – pénzügyi okok miatt – átalakult és ma Leonardo S.p.A. néven ismerhetjük [7] nagymértékben befolyásolták a rakéta rendszerbeállítási idejét, amire egészen 2013-ig várni kellett. Napjainkban a rakétát az MBDA gyártja, mely 2001-ben jött létre több ország közreműködésével [5] [8] [9] [10].

### A METEOR BVRAAM RAKÉTA

A Meteor egy aktív rádiólokátor önirányítású látóhatáron túli légiharc<sup>2</sup> rakéta BVRAAM – Beyond Visual Range Air to Air Missile.



1. ábra A Meteor rakéta [11]

A rakéta alap adatai [2] [12] [13]:

- típusa: légiharc rakéta (levegő-levegő rakéta);
- gyártó: MBDA Systems;
- elsődleges alkalmazók:
  - Egyesült Királyság;
  - Németország;

<sup>1</sup> RFI – Request for Information – ami egy olyan szabványos üzleti folyamat, amelynek célja a különböző beszállítók képességeivel kapcsolatos írásos információk összegyűjtése. Általában egy összehasonlító célra használható formátumot követ [15].

<sup>2</sup> Tanárként a légiharc rakéta elnevezés használatát erősítem, mert egy jól megalkotott és szakmailag mindent magában foglaló szakkifejezés és jobb, mint a „levegő-levegő osztályú”. (A szerző megjegyzése).

- Olaszország;
- Spanyolország;
- Franciaország;
- Svédország;
- ➔ indító repülőgépek:
  - Eurofighter Typhoon;
  - Dassault Rafale;
  - JAS 39 Gripen;
  - F-35 JSF;



2. ábra Az F-35 JSF Meteor rakétát indít a belső fegyverteréből [2]

## ELMÉLETI ALAPOK

Ha teljes mértékben meg akarjuk érteni egy irányítható rakéta működését néhány elméleti alapot meg kell, hogy ismerjünk.

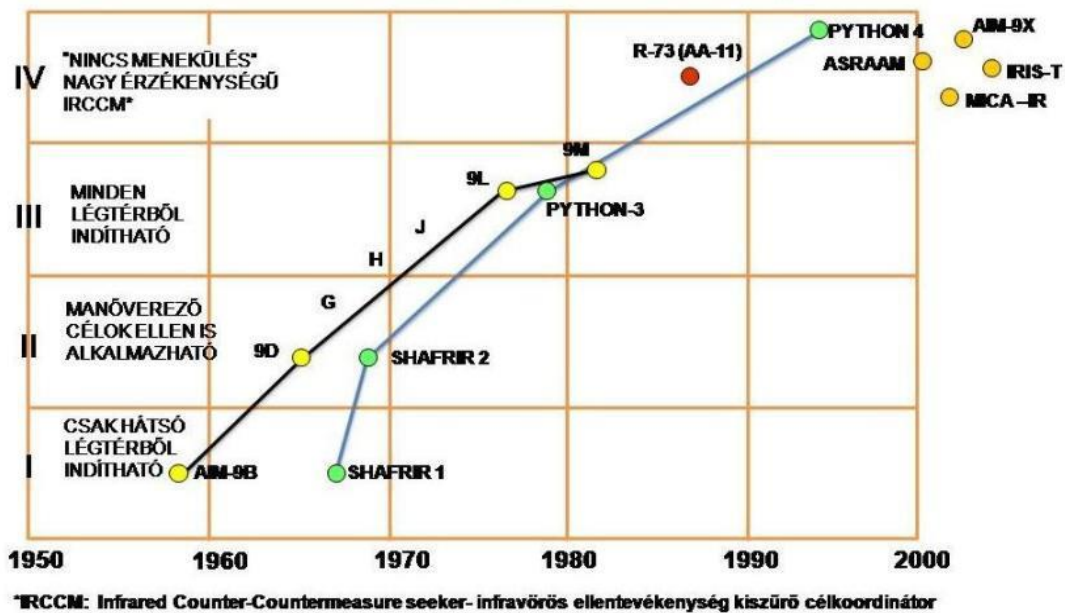
### **Az irányítható rakétákról általában**

Az irányítható rakéták első megjelenése a II. világháború idejére tehető. A náci Németország végzett kísérleteket 1944–45-ben. Inerciális irányító rendszerrel felszerelt V-1 repülőgép-lövedék, majd a V-2 ballisztikus rakéták ezreit zúdították Londonra és más európai városokra. Sikeres kísérleteket hajtottak végre irányítható páncéltörő és légvédelmi rakétákkal is, melyek

vezetékes táv-, vagy rádió parancsirányítással rendelkeztek. A háború befejezése miatt ezek tömeges alkalmazására nem került sor.

A világháború után nagy erővel kezdték fejleszteni az irányítható rakétákat. A technikai forradalom, elsősorban az elektronika, rádiólokáció, infravörös és félvezető technika, valamint a gyártástechnológia fejlődése lehetővé tették, hogy az 50-es évek végére olyan rakétatechnika álljon rendelkezésre, mely a légi harc megvívásának alapvető eszköze lett.

A korai rakétákra az volt a jellemző, hogy nem vagy gyengén manőverező légi célok megsemmisítésére tervezték. Alkalmazási magasságuk maximálisan 15–18 km, míg indítási távolságuk 5–12 km lehetett. Kis túlterhelések elviselésére voltak képesek, indításuk, kizárólag hátsó légteréből történhetett, kis rákurzus<sup>3</sup> esetén. Az 50-es, 60-as évek helyi háborúinak tapasztalatai bizonyították, hogy az ilyen paraméterekkel rendelkező rakéták alkalmazási lehetősége igen kicsi és a célmegsemmisítés valószínűsége nagyon alacsony. Már a 70-es, 80-as években rendszerbeállított rakéták harcászati-technikai adatai is többszörösen felülmúlták a korai fejlesztésű eszközökét, nem is beszélve arról, hogy a 80-as években már az első IV. generációs (3. ábra) légi harc rakéta hadrendbeállítása is megtörtént. Napjainkban III. és IV. generációs rakéták szolgálnak a legtöbb légierőben, de a tervezőasztalokon és kísérleti laboratóriumban már az V. generációs rakétákat is fejlesztenek [14].



3. ábra Rövid hatótávolságú légi harc rakéták fejlődése [15]

Az ábrán a következő légi harc rakéta típusok találhatók:

- AIM-9B, D, G, H, J, L, M, X „Sidewinder” az USA egyik legelterjedtebb közel légi harc rakétája;
- SHAFRIR 1, 2, Python-3, -4 izraeli fejlesztésű közel légi harc rakéta;
- R-73 (AA-11) szovjet-orosz közel légi harc rakéta, többek között a MiG-29, Szu-27 típus családok közel légi harc rakétája;

<sup>3</sup> „A cél rákurzusának nevezzük a cél haladási iránya és az irányzóvonal által bezárt szöget, a cél irányszögeként is használatos.”



- AIM-132 – ASRAAM – Advanced Short Range Air-to-Air Missile – „fejlett rövid hatótávolságú levegő-levegő rakéta”;
- IRIS-T német-svéd-olasz közös fejlesztésű közel légi harc rakéta;
- MICA-IR francia fejlesztésű közel légi harc rakéta.

### **Az irányítható rakéták csoportosítása**

A fedélzeti rakétákat a hordozó eszköz és a cél elhelyezkedése alapján a következő két nagy csoportba lehet besorolni:

- levegő-felszín vagy levegő-föld;
- légi harc (levegő-levegő).

Ez a csoportosítás azonban csak a rakéta rendeltetésére utal, részletesebb adatok megismerését nem teszi lehetővé.

Az irányító rendszer típusa szerint megkülönböztetünk:

- távirányítású;
- önirányítású;
- programirányítású;
- kombinált irányítású rendszereket.

A **távirányítású rendszerekben** az irányító jel a rakétán kívül (pl.: a rávezető állomáson, ami a helikopter vagy repülőgép fedélzetén található) jön létre. Ezt parancsjel formájában érzékeli a rakéta fedélzetén található irányító rendszer és működésbe jönnek a kormányok, ami a röppálya módosulását eredményezi. A parancsjel továbbítása történhet közvetlenül vezetékkel vagy rádióhullámok segítségével.

Az **önirányító rendszerekben** a rakéta, valamint a cél kölcsönös helyzetét az irányító rendszer részét képező, a rakéta fedélzetén található célkoordinátor végzi. A célkoordinátor jele megfelelő feldolgozás (zavar- és zajszűrés, erősítés stb.) után a rakéta irányító berendezésén keresztül kormány elmozdítási jeleket hoz létre és ezzel korrigálja a rakéta röppályáját [14].

A **programirányítású rendszerekben** a rakéta repülése előre meghatározott paraméterek szerint történik. A rakéta fedélzetén elhelyezett (pl. inerciális navigációs) berendezés nincs kapcsolatban sem a céllal, sem az indító repülőgéppel. A rakéta repülési paramétereit az indítás előtt kapja meg a hordozó repülőgép fedélzeti számítógépétől. A repülés folyamán a fedélzeti irányító berendezés összehasonlítja a beprogramozott értékeket és a valós repülési paramétereket, majd az összehasonlítás eredményeként kidolgozza az irányító jelet és kiadja az irányító parancsokat a vezérlő szervek felé. A programvezérlés előnye a nagyfokú zavarvédelem, hátránya viszont az, hogy nincs lehetőség, vagy korlátozott, a program, repülés közbeni módosítására. A mai korszerű légi harc rakétáknál ezt a hátrányt már kiküszöbölték, mert különböző módszerekkel, de általában valamilyen adatkapcsolati csatornán (DataLink) a rakéta repülésének programozott szakaszán korrigálni lehet az előretartási pont helyzetét. Ilyen rakéta pl. az AIM-120, az R-27 és a most tárgyalt Meteor is [14].

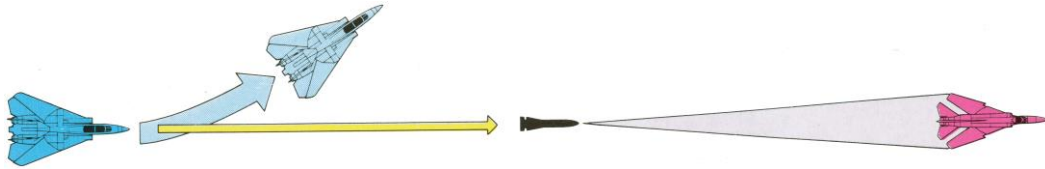
A **kombinált irányítású rendszer** alkalmazása egyre gyakoribb a közepes és nagy hatótávolságú légi harc rakétákban. Az ilyen rakéták célkörzetbe juttatása programirányítással történik, majd a rakéta célkoordinátorának befogása után áttér önirányításra.

A cél kiválasztásának módszere szerint három önirányítási módszert különböztetünk meg:

- aktív;
- félaktív;
- passzív.

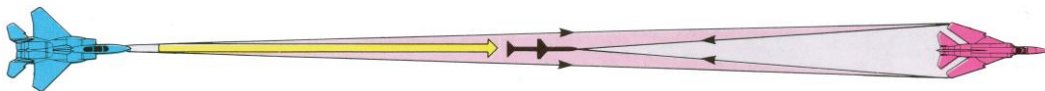
Az **aktív és félaktív** önirányítási rendszerek lényege, hogy a célt mesterségesen kiemeljük a környezet háttéréből – megvilágítjuk – elektromágneses hullámok segítségével. A célról visszaverődött jeleket a rakéta célkoordinátora érzékeli és a szükséges jelfeldolgozás után kiszűri belőle a szükséges információt a cél helyzetéről és mozgásáról. A hasznos információk alapján kidolgozza az önirányító rendszerben az irányító jeleket, ami a kormánygépek segítségével módosítja a rakéta röppályáját [14].

Azokat a rendszereket, ahol a sugárzó berendezés is a rakéta fedélzetén található **aktív önirányításnak** (4. ábra), ahol csak a vevő berendezés van a rakéta fedélzetén **félaktív önirányításnak** nevezünk (5. ábra).



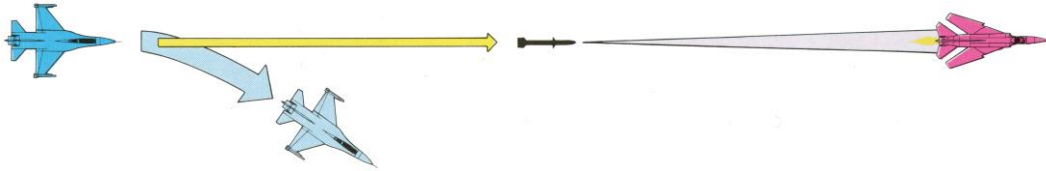
4. ábra Aktív önirányítás [14] [16]

A félaktív rendszerek legnagyobb hátránya, hogy a rakéta célba jutásáig úgymond meg kell világítani a célt, vagyis folyamatosan biztosítani kell a cél mesterséges kiválasztását a környezetből. Ezt leggyakrabban a hordozó repülőgép végzi a rádiólokátora segítségével és ilyenkor megnövekszik a felderítésének a veszélye, mivel folyamatos rádió kisugárzás történik, illetve korlátozottak a saját (önvédelmi) manőver lehetőségei. Nagyon gyakran – közepes és nagy hatótávolságú légiharc rakéták esetében – az aktív és a félaktív önirányítási rendszereket kombinált rendszerekben alkalmazzák [14].



5. ábra Félaktív önirányítás [14] [16]

**Passzív önirányítási** módszer (6. ábra) esetében a célok saját kisugárzását (hő, fény, elektromágneses) használjuk fel a rakéta fedélzetén található célkoordinátor hasznos jeleként. A legelterjedtebb változat a passzív infravörös önirányítás, ahol a repülőgép hajtómű kiáramló gázainak, a sárkányszerkezet felmelegedett elemeinek hősugárzását érzékeli a célkoordinátor. Ezeknek a rendszereknek több előnyös tulajdonsága is van, ilyen pl.: a viszonylag egyszerű, olcsó felépítés, a nagy pontosság, valamint az a tény, hogy a rakéta indítása után a hordozó repülőgép azonnal kiválhat a manőverből és megkezdheti egy másik, új cél támadását, vagy visszatérhet a bázisra. Ezt nevezzük a „Tüzelj és felejtse el!” elvnek. Alkalmazásuknak csak a rossz időjárási viszonyok szabnak határt [14].



6. ábra Passzív önirányítás [14] [16]

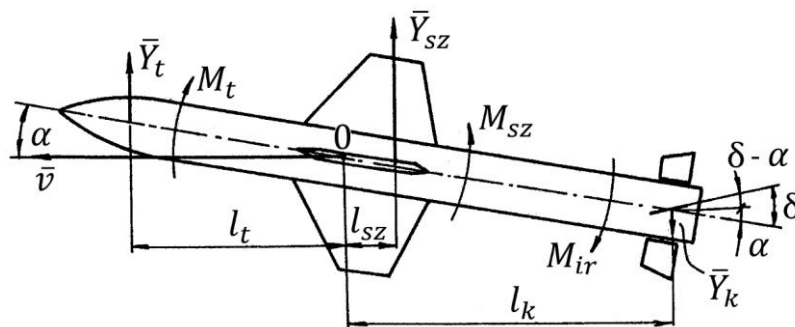
### Az irányítható rakéták aerodinamikai felépítése

A tengelyszimmetriával rendelkező rakéták kormányainak a szárnyakhoz viszonyított elhelyezkedésétől függően aerodinamikai elrendezéseket különböztetünk meg:

- normál vagy hagyományos rendszer;
- csupaszárny rendszer;
- fordított vagy kacsza elrendezés;
- forgatható szárnyas rendszer.

**Normál vagy hagyományos aerodinamikai elrendezés** (7. ábra) esetén a kormányok a szárnyak mögött helyezkednek el, melynek előnye, hogy a kormányok kitérése során keletkező légörvények nincsenek hatással a szárnyakra, így azok hatásossága magasfokú. Ennek következtében jelentős kormánylap elfordulások hozhatók létre, így a rakéta maximális állásszöggel repülhet, így nagy irányítóerő keletkezik a szárnyakon is. Az elrendezés hátránya, hogy a kormányokon és a szárnyakon keletkező irányítóerők ellentétes hatása, ami csökkenti az eredő irányítóerőt. Illetve a kormányok a szárnyak leáramlásában találhatók, ezért a hatékony működésük érdekében a felületük növelése szükséges, ami viszont tömeg növekedéssel jár. A rendszer másik nagy hátránya a konstrukciós kialakítás során mutatkozik meg, mert a hajtómű gázok kivezetését is meg kell oldani úgy, hogy a rakéta farokrészén a Laval-fúvóka körül elhelyezhetők legyenek a kormányfelületek és azok kormánygépei.

A 7. ábra alapján vizsgáljuk meg az irányítóerő létrejöttét. Kezdeti feltételnek vegyük a  $\delta = 0^\circ$ -ra kitérített kormányokat és  $\alpha = 0^\circ$  állásszöveget. A kormánykitérésen egy kormánypár (egymással szemben lévő kormányok) azonos irányú elfordulását értjük.



7. ábra Normál aerodinamikai elrendezés [17]

Ha a kormányt  $\delta$  szögre kitérítjük, rajta  $\bar{Y}_k$  kormányerő keletkezik, amely a rakéta tömegközéppontjához képest  $\bar{M}_{ir} = \bar{Y}_k \cdot l_k$  irányító nyomatékot hoz létre. Ennek hatására a rakéta a tömegközéppontja körül kezd elfordulni és megjelenik az  $\alpha > 0$  állásszög,  $\bar{Y}_{sz}$  a szárnyon és  $\bar{Y}_t$  a rakéta testen ébredő irányítóerő. A rakéta állásszögének  $\alpha$  növekedésével az  $\bar{Y}_{sz}$  és az  $\bar{Y}_t$  erők is növekednek, az  $\bar{Y}_k$  pedig csökken, mivel csökken a kormányok állásszöge  $|\alpha_k| = |\delta| = \alpha$ .

Ezzel egy időben növekszik a  $M_{sz} = Y_{sz} \cdot l_{sz}$  és  $M_t = Y_t \cdot l_t$ , de csökken az  $M_{ir}$  nyomaték értéke a tömegközépponthoz viszonyítva, így egy meghatározott állásszögön létrejön a nyomatékok egyensúlya  $M_{sz} = M_{ir} + M_t$ , és a rakéta tömegközéppont körüli forgása megszűnik. Ebben az esetben az eredő irányítóerő  $\bar{Y} = \bar{Y}_{sz} + \bar{Y}_t - \bar{Y}_k$  a rakéta tömegközéppontjában hat. A fenti nyomaték egyensúly esetén a rakéta egyensúlyi állásszögéről beszélünk. Minden kormánylap kitéréshez tartozik egy egyensúlyi állásszög, melyet lineárisnak tekinthetünk.

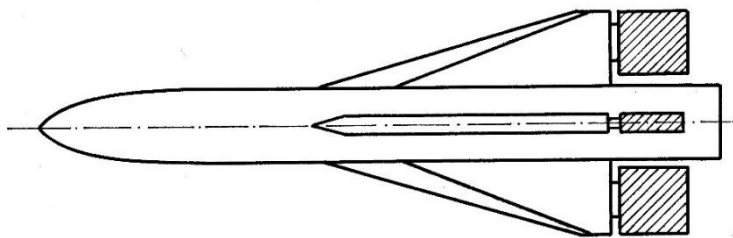
$$\alpha = k_\delta \cdot \delta,$$

ahol a  $k_\delta$  – egyensúlyi arányossági tényező.

A repülés állandósult állapotában az  $\alpha$  és  $\delta$  előjele ellentétes, ezért  $k_\delta$  negatív.

A normál elrendezésű rakéták esetében csűrőnyomaték létrehozására eleronok alkalmazása akkor célszerű, ha a szárnyfesztáv lényegesen meghaladja a kormány fesztávolságát. Ellenkező esetben differenciál kitérésű kormányok alkalmazása a célszerű [17].

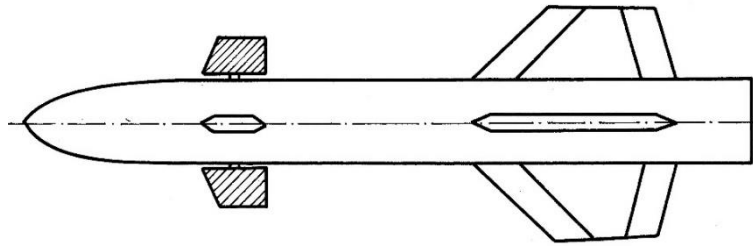
**Csupaszárny aerodinamikai elrendezés** (8. ábra) a normál aerodinamikai elrendezés egyik speciális esete, amikor a kormánylapok a szárnyak kilépő élén helyezkednek el. Előnyei és hátrányait, illetve az irányító erő létrehozásának folyamatát tekintve megegyezik a normál aerodinamikai elrendezéssel. A csupaszárny aerodinamikai rendszer több szerkezeti sajátossággal rendelkezik. A szárny fesztávolsága jelentősen csökken, így könnyebb a rakéta függesztése a repülőgépre, növekszik a rakétatest szilárdsága, valamint a szárnyak kisebb terhelése miatt –  $\bar{Y}_{cs}$  (a csűrőkön keletkező erő) kisebb erőkaron hat – így csökkenthető a rakéta tömege. Mivel a szárnyak nem takarhatják a harcírész, illetve a közelségi gyújtót, így azokat a rakéta elején kell elhelyezni, valamint a szárnyakat hátra kell húzni. Ezzel viszont növekszik az  $\bar{Y}_{sz}$  erő erőkarja  $l_{sz}$ , ami az egyensúlyi állásszög csökkenéséhez vezet, ezzel romlik a rakéta irányíthatósága. Ezt a rakéta orr részén elhelyezett kisebb merev aerodinamikai felületek ún. destabilizátorok elhelyezésével lehet kiküszöbölni, amelyek kompenzálják a szárnyak hátra helyezéséből eredő  $M_{sz}$  nyomatékot. Csűrőnyomaték létrehozása a szárnyak kilépő élein elhelyezett kormányfelületek differenciál kitérésével valósítható meg [17].



8. ábra Csupaszárny aerodinamikai elrendezés [17]

**Fordított – kacsá – aerodinamikai elrendezésnek** (9. ábra) számos előnye van. Talán a legfontosabb, hogy egyensúlyi állásszögeken, a szárnyon és a kormánylapokon azonos irányú irányítóerő keletkezik. A kormánylapok hatékony működését nem zavarja a szárnyakról leváló légáramlat, ami lehetővé teszi a kormányfelületek méretének csökkentését. Ez az elrendezés jelentősen egyszerűsíti a harcírész és a közelségi gyújtó elhelyezését is. Mivel egyensúlyi állásszögeken a kormánylapok állásszöge

$$\alpha_k = \delta + \alpha$$

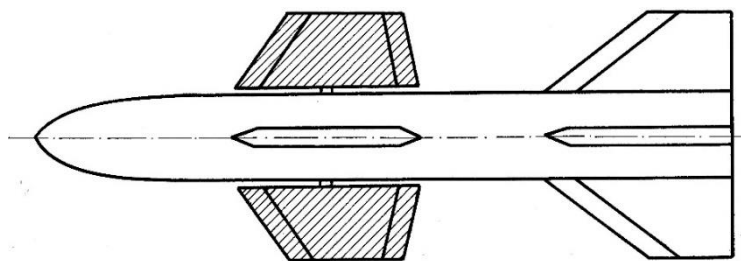


9. ábra Fordított (kacsas) aerodinamikai elrendezés [17]

A szárnyakon olyan  $\Delta \bar{Y}_{sz}$  irányító erő jöhet létre, ami  $\bar{Y}_{sz}$ -el ellentétes irányú és teljesen közömbösítheti az  $\bar{Y}_k$  pozitív hatását. Mivel a megzavart légáram nem egyformán éri a négy szárnyfelületet ebből következik, hogy a keletkezett kiegészítő erők nagysága sem egyforma. Ennek következtében jelentős dőlési nyomaték keletkezik, ami a kormányok differenciál kitérítésével nem kompenzálható, de rolleronok (pörgettyűs csűrők) alkalmazásával igen.

Megvizsgálva az irányító erők és nyomatékok létrehozásának módját, megfigyelhető, hogy a vízszintes síkban elhelyezett kormány pár  $\delta$  szögre történő kitérítésekor  $\bar{Y}_k$  irányító erő és ennek nyomatéka  $M_{ir}$  keletkezik. Az irányító nyomaték  $M_{ir}$  hatására a rakéta kezd elfordulni a tömegközéppontja körül. A létrejövő állásszög miatt megjelennek az  $\bar{Y}_{sz}$  és az  $\bar{Y}_t$  erők. A kormányok állásszögének  $\alpha_k = \delta + \alpha$  növekedése miatt az  $\bar{Y}_k$ , az  $\bar{Y}_{sz}$ , az  $\bar{Y}_t$  erők és azok  $M_{ir}$ ,  $M_{sz}$ , és  $M_t$  nyomatékai tovább növekednek. Ezek közül az  $M_{sz}$  nyomaték változása a legintenzívebb. Valamely  $\alpha$  egyensúlyi állásszög esetében létrejön az  $M_{sz} = M_{ir} + M_t$  nyomatékegyenlőség és a rakéta tömegközéppont körüli forgása befejeződik. Ekkor a rakéta dinamikus egyensúlyi helyzetbe kerül. Ekkor az irányító erők eredője  $\bar{Y} = \bar{Y}_{sz} + \bar{Y}_k + \bar{Y}_t$  a rakéta tömegközéppontjában hat. Az  $\alpha$  és a  $\delta$  szögek azonos előjelűek, ezért a  $k_\delta$  egyensúlyi arányossági tényező pozitív lesz [17].

**Elforgatható<sup>4</sup> szárnyas aerodinamikai elrendezés.** (10. ábra). Nagyon hasonlít a fordított elrendezésre, azzal a különbséggel, hogy kormányfelületeket hátrébb – a tömegközéppont környezetében – helyezik el és megnövelik azok felületét. Ezeken keletkezik a rakéta irányító ereje. A rakéta farok részénél rögzített aerodinamikai felületek vannak, melyek a stabilizátor szerepét töltik be (7. ábra).

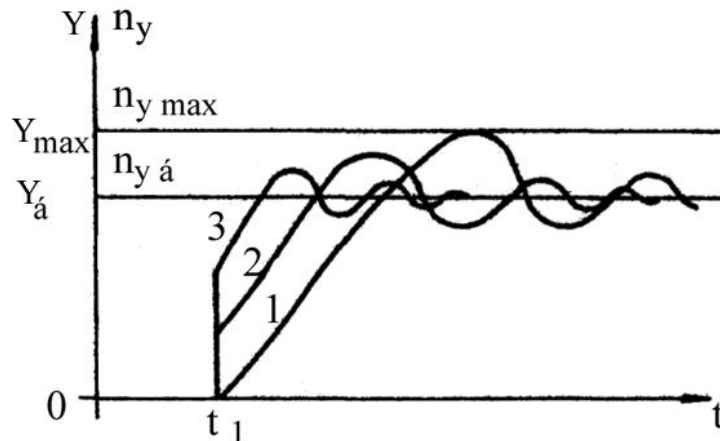


10. ábra Forgatható szárnyas aerodinamikai elrendezés [17]

Az irányítóerők és nyomatékok létrehozása a fordított rendszerénél leírt módon történik. Az elforgatható szárnyas aerodinamikai elrendezés legfontosabb előnye az irányító erő gyors létrehozása, amely közvetlenül a szárny elfordulásakor keletkezik, melyek forgástengelye körüli inercia nyomatéka is lényegesen kisebb. A szárnyak az irányító erő létrehozásán kívül csűrő

<sup>4</sup> Számos szakirodalomban forgatható szárnyas elnevezéssel találkozhatunk (A szerző megjegyzése.)

nyomatékot is létrehozhatnak. Ez – ellentétben a fordított aerodinamikai elrendezéstől – szárnyanként külön kormánygépet igényel. Ebben az esetben differenciál kormányokról beszélünk.



11. ábra Az irányító erő létrehozásának átmeneti folyamata

1 – normál, 2 – fordított, 3 – elforgatható szárnyas aerodinamikai elrendezés átmeneti függvényei [17]

Az ábrán (11. ábra) az irányító erő és a vele arányos  $n = \frac{Y}{G} = \frac{Y}{m \cdot g}$  irányító túlterhelés látható az idő függvényében. A rakéta egyensúlyi állásszöge esetén az irányító erő nagysága  $Y_a$ , a túlterhelés pedig  $n_{yá}$ .

Az elforgatható szárnyas aerodinamikai elrendezés hátránya, hogy az irányító erők létrehozására nagy kormányfelületek és ennek megfelelően nagy teljesítményű kormánygépek szükségesek, melyek jelentősen növelik a rakéta tömegét.

Az elemzések és a tapasztalatok azt mutatják, hogy mindegyik aerodinamikai elrendezésnek meg vannak az előnyei és a hátrányai. A tervezés során törekednek arra, hogy olyan aerodinamikai elrendezést válasszanak, mely előnyei legjobban megfelelnek a rakéta rendeltetésének, a hátrányai pedig ne gyakoroljanak jelentős negatív hatást a rakéta alkalmazási hatékonyságára [17].

Például nagy magasságban alkalmazott légiharc rakéták esetében célszerű normál vagy csupaszárny aerodinamikai elrendezést alkalmazni, mert azok jelentős egyensúlyi állásszöggel rendelkeznek, így a szárnyak teljes egészében kihasználták az irányító erő létrehozásában. Erre nagyon jó példák az AIM-54 és az R-33 légiharc rakéták [17].

### Rakéta hajtóművek elméleti alajai

A napjainkban alkalmazott modern vadászpilóta gépek leggyakoribb fegyvere a fedélzeti rakéta, melyeket különböző speciális hajtóművek juttatnak célba, legyen a cél akár a levegőben, akár a felszínen. Ezekben a rakétákban alkalmazott hajtóművek – kevés kivételtől eltekintve szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek (SzHRH), melyekben valamilyen robbanóanyagot – nagyon gyakran lőport – alkalmaznak hajtóanyagként.

A mai követelményeknek megfelelően a hajtóanyag kémiai összetételét úgy választják meg, hogy égése során 5000 kJ/kg nagyságrendű fajlagos hőmennyiséget szabadítson fel, 2000 és 4000 K közötti hőmérsékleten, amelyet a ma rendelkezésre álló hőszigetelő anyagok még elviselnek.

A hajtóanyagoknak több más fontos kritériumot is ki kell elégíteniük. Ezek a következők:

- a hajtóanyag sűrűsége, fajlagos energiája lehető legnagyobb legyen;

- az égési folyamatnak még a lehető legkisebb nyomásnál sem szabad megszakadnia;
- mechanikai szilárdsága nagy legyen, vagy az anyag legyen rugalmas;
- a hajtóanyagban hosszú tárolás után sem szabad vegyi változásnak fellépnie;
- ne legyen nedvszívó és égése ne függjön jelentősen a külső környezeti hőmérséklettől;
- előállítása legyen olcsó és veszélytelen.

## Hajtóanyag típusok

### Homogén hajtóanyagok

Tüzelőanyag és oxidálószer egy molekulát alkotó kémiai vegyülete. Egyik alapvető típusa az úgynevezett füstnélküli lőpor, amelyet tüzérségi lövedékekben is felhasználnak [18].

A kolloid hajtóanyagok fő összetevője a nitrocellulóz (cellulóz-nitrát) vagy más néven a lógyapot, melyet alkohollal, acetonnal, vagy leggyakrabban nitroglicerinnel, mint oldószerrel keverve alkalmaznak. Általában a különböző homogén hajtóanyagoknak a nitrocellulóz tartalma 40–60% között változik. Ezenkívül a hajtóanyagok különböző adalékokat is tartalmaznak, melyekkel a hajtóanyag fizikai-kémiai tulajdonságait lehet befolyásolni. Ilyenek lehetnek:

- katalizátorok (égésgyorsítók), esetleg flegmatizátorok (égésslassítók), melyek az égési sebességet szabályozzák oly módon, hogy az gyakorlatilag független legyen a nyomástól;
- stabilizátorok, melyek a hajtóanyag tárolása során biztosítják annak kémiai állandóságát;
- plasztifikálók, amelyek az előállítás folyamán elősegítik a zselatinná válást és javítják a hajtóanyag mechanikai sajátosságait. Százalékarányuk a 10%-ot is elérheti.

### Kompozit hajtóanyagok

Ezt a típusú hajtóanyagot oxidáló és redukáló molekulák keveréke alkotja. Tulajdonképpen ebbe a csoportba sorolhatjuk a fekete lőport is, amely salétrom (oxidálószer), kén és szén (redukálószer, tüzelőanyag) keveréke. Nyilvánvaló azonban, hogy a fekete lőpor nem elégíti ki a megfelelő szilárdsági követelményeket, ezért hajtóanyagként nem alkalmazható [17] [18] [19] [20] [21] [22].

Oxidálószer	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Szabad oxigén tömeg [%]	Bomlási hőfok [K]	Megjegyzés
Ammónium perklorát NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub>	1,95	34,0	> 540	Különböző szemcsenagysá- ban fordul elő, olcsó
Káliumperklorát KClO <sub>4</sub>	2,53	46,2	> 770	Az égéstermékek KCl <sup>5</sup> -t tartal- maznak
Ammóniumnitrát NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1,72	20,0	igen stabil	Közepes teljesítményű, füst- mentes
Káliumnitrát KNO <sub>3</sub>	2,11	40,0	-	Gyenge teljesítményű, olcsó

1. táblázat A kompozit hajtóanyagokban alkalmazott oxidálószer

A keverék hajtóanyagok tüzelőanyagaként rendszerint kaucsuk- és gyantaszerű anyagok (természetes és mesterséges kaucsuk, karbamid és fenolgyanták, szurok, polimer-butadének, poliuretánok stb.) szolgálnak. A robbanóanyag tömegének 10–15%-át teszik ki.

<sup>5</sup> KCl – Kálium-klorid



Összetétel	Hajtóanyag verzió			
	1	2	3	4
KClO <sub>4</sub>	76%			
NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub>		80%		68%
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>			80%	
Aszfalt	17%			
Kőolaj	7%			
Szerves kötőanyag		20%	18%	14%
Fémpor tüzelőanyag				16%
Egyéb			2%	2%

2. táblázat Néhány hajtóanyag összetétele

Oxidátorként felhasználhatók, nagy oxigén tartalmú szervesetlen vegyületek (ammónia-, nátrium-, kálium-, lítiumperklorátok és nitrátok). A tömeg 65–70%-át teszik ki. A különböző komponenseket összekötő (ragasztó) elem lehet maga a hajtóanyag, vagy speciális adalék.

A hajtóanyag energetikai jellemzői fémporok (alumínium, magnézium stb.) bevitelével javíthatók, ami elérheti a tömeg 15–20%-át is.

Az 1. és 2. táblázatokban a kompozit hajtóanyagokban alkalmazott oxidálószerket, illetve néhány kompozit hajtóanyag összetételét ismerhetjük meg [19] [20] [21] [22] [17] [18].

### A reaktív hajtóművek osztályozása

A rakétahajtómű a reaktív hajtóművek csoportjába sorolható és két nagy csoportra osztható:

- levegőnyelő (aerob);
- levegőt nem nyelő (anaerob).

#### *Levegőnyelő hajtóművek*

A levegőnyelő hajtóművek közé sorolják a légszavas hajtóművet, a gázturbinát és a torlósugárhajtóművet.

A gázturbinás hajtóművet a közepes és nagy sebességű repülőgépeknél, robotrepülőgépeknél lehet alkalmazni (körülbelül 2–2,5 M tartományig). Az ennél nagyobb sebességeknél már feleslegessé válik a turbókompresszor, mivel a szívócsatornában létesített dinamikus nyomás elegendő az égési reakció jó hatásfokú lefolyásához. Az ilyen típusú hajtóműveket hívják torlósugár hajtóműnek.

Ez a propulziós rendszer csupán a levegő beömlőcsatornából, az égőtérből és a fúvócsőből áll. Mivel nincsenek benne nagy sebességgel forgó alkatrészek, mint a kompresszor vagy a turbina, felépítése sokkal egyszerűbb, mint a gázturbinás sugárhajtóművéké. Ezzel szemben viszont nagy hátránya, hogy csak nagy sebességeknél (kb. kétszeres Mach szám elérése után) lehet beindítani. Emiatt a torlósugárhajtóművet mindig gázturbinás sugárhajtóművel vagy rakétahajtóművel kell társítani [19] [20] [21] [22] [17] [18].

### Levegőt nem nyelő hajtóművek

A levegőt nem nyelő hajtóműveket leggyakrabban rakétahajtóműként szokták emlegetni.

*„Olyan különleges sugárhajtómű, amely a működéshez nem a környező levegőt használja fel, hanem az üzemeltetéshez szükséges anyagot a fedélzeten viszi magával. Ebből eredően a rakétahajtómű bárhol, még légüres térben is elő tud állítani tolóerőt. A rakétahajtómű lehet: kémiai, atom- és elektromos rendszerű. A kémiai rakétahajtómű munkaközege nagy hőmérsékletű gáz, a rakéta-hajtóanyag égésének v. nagyon gyors bomlásának a terméke. Ma még az atom-rakétahajtómű fejlesztési stádiumban van; az elektromos rakétahajtóművek pedig gyakorlatilag csak az irányító rendszerek orientációs egységeiben fordulnak elő.” [23, pp. 492-493]*

A fenti definíciót megvizsgálva a rakétahajtóművek két csoportra oszthatók:

- a kémiai rakétahajtóművekben — az energiaforrás és a kiáramló tömeg szoros összefüggésben van egymással;
- a hajtómű energia forrása és a kiáramló tömeg nincsen olyan szoros összefüggésben egymással.

Az első csoport a lényeges, mert a repülőfedélzeti rakétákban ezen az elven működő hajtóműveket alkalmazzák, mivel gyakorlati megvalósítása az ilyen típusú hajtóműveknek lehetséges viszonylag olcsón és egyszerűen. Ezek a hajtóművek azért is alkalmasak repülőfedélzeti rakétákban való alkalmazásra, mert rövid idő alatt képesek igen nagy sebességeket (akár 3–3,5 M) elérni, így igen nagy távolságokat rövid idő alatt megtenni [19] [20] [21] [22] [17] [18].

A repülőfedélzeti rakétákban alkalmazott rakétahajtóműveket a következőképpen csoportosítjuk:

- folyékony hajtóanyagú:
  - egyfokozatú;
  - két fokozatú;
- szilárd hajtóanyagú:
  - egyfokozatú;
  - két fokozatú;
- kombinált hajtómű:
  - két fokozatú.

A repülőfedélzeti rakéták csoportosítását megvizsgálva, a következő következtetés vonható le. A nemirányítható rakéták esetében csak szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművet alkalmaznak. Ez a rakéták viszonylag gyakori kis méretével és a hajtómű gyártási hibáiból adódó viszonylag kis szórásból és a hajtómű megbízható működéséből, olcsó előállíthatóságából adódik. Az irányítható rakéták között különbséget kell tenni a légiharc és a felszín elleni, illetve a légvédelmi rakéták között. A légiharc rakéták esetében sem mondható ki, hogy csak szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművel rendelkeznek, míg a felszínelleni és a légvédelmi rakéták között is igen nagy a választék. A rakéta harcászati jellegétől, vagy a hatótávolságtól illetve a rakéta méretétől függően ebben a csoportban megtalálható valamennyi korábban felsorolt típus [19] [20] [21] [22] [17] [18].

A felsorolt reaktív hajtóművek szinte bármilyen kombinációja előfordulhat a rakétákon és ennek függvényében beszélünk egyfokozatú, vagy kétfokozatú hajtóműről, egy lépcsős vagy kétlépcsős hajtóműről. Gyakorta keverik össze a **hajtómű lépcső** és **hajtómű fokozat** szóösszeteteleket. Az előbbi leváló pl. gyorsító lépcsőt jelent, az utóbbi pedig általában a hajtóművön

belüli megoldást jelent. Ez azt jelenti, hogy egy hajtómű térben két különböző égési karakterisztikájú hajtómű található. Valójában a lépcső és nevezhető fokozatnak, de a fokozat lépcsőnek nem. Ezért is fordul elő a keveredés.

A hagyományos értelemben vett rakéták között található olyan, amelyik egyfokozatú, szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművel rendelkezik. Található viszont olyan is, amely kétfokozatú hajtóművel rendelkezik, ezek közül az első fokozat – a gyorsító fokozat – szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű. Ezen rakéták második fokozata lehet levegőt nem nyelő, tehát a hagyományos értelemben vett rakétahajtómű, lehet viszont levegőt nyelő torlósugarhajtómű. Ezek között a hajtóművek között is megkülönböztethetünk folyékony és szilárd hajtóanyagú változatokat.

A szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű szerkezetét tekintve igen egyszerű. A szilárd hajtóanyagot – általában különféle lőporokat – hajtótöltet formájában, a tüzelőtérben helyezik el, ami egyben a hajtóanyagtartály, és egyben a rakéta törzse is.

A szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű előnyei:

- szerkezet, így a gyártása is egyszerű és viszonylag olcsó;
- a hajtótöltet állandóan a rakétában tárolható;
- az indításhoz való előkészítés nem időigényes.

Hátrányai:

- mivel a hajtótöltet tárolótartálya a hajtómű működése során tüzelőtérre változik, és egyben a rakéta törzse is, így a fellépő nagy nyomást és hőmérsékletet a tervezéskor figyelembe kell venni, ami megnövelheti az égőtér méretét;
- viszonylag kis fajlagos tolóerő;
- az égési folyamatot jelentősen befolyásolja a töltet kezdeti hőmérséklete;
- nagyon nehezen, vagy egyáltalán nem oldható meg a hajtómű leállítása.

### **Szilárd és folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművek rövid összehasonlítása**

Figyelembe véve a felsorolt előnyeit – hátrányai ellenére – páncéltörő, tüzérségi, légvédelmi, repülőgép-, helikopter-, hajó- és tengeralattjáró-fedélzeti rakétákban is széleskörű alkalmazást nyert. A korszerű szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek legnagyobb fajlagos tolóereje 3000 Ns/kg-ot, a legnagyobb tüzelőtér nyomás pedig mintegy 20 MPa-t is elérheti.

A folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművet gyakran alkalmazzák közepes ill. nagy hatótávolságú rakétafegyverekben. Az ilyen típusú hajtóművek szerkezete bonyolultabb, mint a korábban tárgyalt szilárd hajtóanyagú rakétahajtóműveké. Általában hajtóanyag tartályból (vagy tartályokból), hajtóanyag-táprendszerből, hajtóházból (tüzelőtér a fűvókával) és a hajtómű automatikából áll. A hajtóanyag tartályokban tárolt összetevőket (általában oxidálóanyagot és tüzelőanyagot) a táprendszer szállítja a tüzelőtérbe, ahol a meggyulladás után folyamatos égés játszódik le [19] [20] [21] [22] [17] [18].

A hajtómű-automatika a hajtómű működése során a következő feladatokat látja el:

- a hajtómű megindítását;
- az összetevők begyűjtését;
- a tüzelőtérbe betáplálendő hajtóanyag mennyiségének szabályozását;
- az összetevők egymáshoz viszonyított mennyiségének megváltoztatását;

→ a hajtómű leállítását.

A folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművek előnyös tulajdonságai:

- a szabályozás egyszerűsége és pontossága;
- a gyors és pontos leállítás lehetősége;
- viszonylag magas fajlagos tolóerő.

Hátrányai:

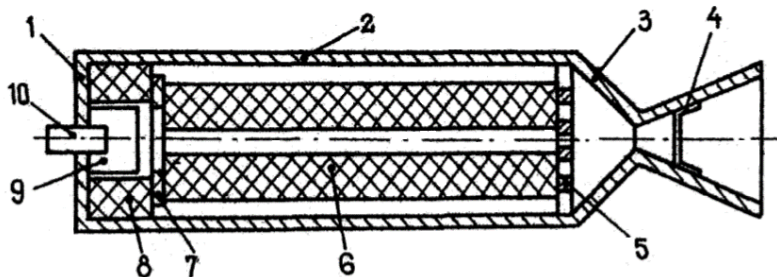
- bizonyos típusú hajtóanyag-összetevőket sajátos tulajdonságuk miatt nem lehet a rakéta fedélzeti tartályaiban tárolni huzamosabb ideig;
- az előbbiből következően viszonylag nagy az előkészítési idő;
- szerkezete meglehetősen bonyolult;

	Fajlagos tolóerő [Ns/kg]	Kiáramlási sebesség [m/s]	Tüzelőtér nyomás [MPa]
Szilárd hajtóanyagok	2500–3000	1000–2500	15–20
Folyékony hajtóanyagok	3500–4000	2500–4000	6–8

3. táblázat Hajtóanyagok összehasonlítása

### A rakétahajtóművek felépítése

A repülőfedélzeti rakétákon leggyakrabban szilárd hajtóanyagú rakétahajtóműveket alkalmaznak, melynek felépítése viszonylag egyszerű (12. ábra).



12. ábra Szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű felépítése [17]

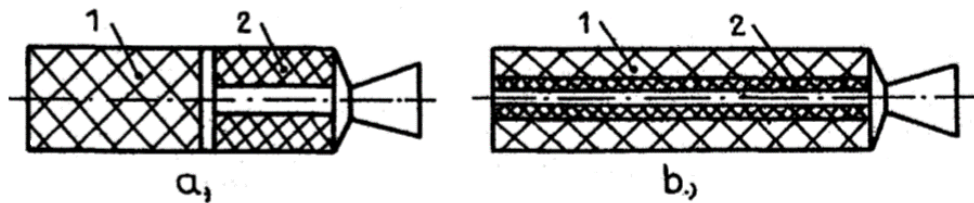
A hajtómű a következő főbb szerkezeti elemekből áll:

- mellső fedél (1);
- hajtómű test (2). Ez leggyakrabban a rakétatest része is egyben;
- hátsó fedél a fúvókával (3);
- záródugó (4);
- diafragma (rács) (5);
- hajtómű töltet (6);
- közbetét (7);
- amortizátor vagy rezgés csillapító (8);
- gyullasztó töltet (9);
- piropatron vagy elektromos gyutacs (10).

A hajtómű indításakor elektromos feszültség kerül az indító berendezésből az elektromos gyutacsra, mely begyűjtja a durva szemcsés fekete lőporból álló gyullasztó töltetet. A megbízható indítás érdekében gyakorta alkalmaznak pillanat működésű elektromos gyutacsot. A gyullasztó

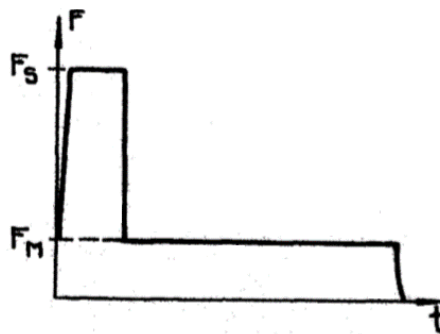
töltet végzi a hajtómű lőportöltetének begyűjtését. A töltetben radiális furatok lehetnek, melyek az égőtér egyenletes nyomáseloszlását biztosítják.

Nagyobb indítási távolság ( $D_0 > 40$  km) esetében gyakorta előfordul, hogy kétfokozatú hajtóművet alkalmaznak. Ez nem ugyanaz, mint a több lépcsős (űr, illetve interkontinentális ballisztikus) rakétákban alkalmazott megoldás. Ebben az esetben pl. a hajtómű teret osztják két részre és különböző lőportöltetet alkalmazva bennük (13. ábra). Az ábra bal oldalán (a) a kétkamrás, a jobb oldalán (b) pedig az egykamrás hajtómű látható. Mindkettőben a menet (utazó) töltet (1), illetve egy start (gyorsító) töltet (2) található. A start fokozat tolóereje és égési sebessége jelentősen (kb. 4–6 szor) nagyobb, mint a menet fokozaté.

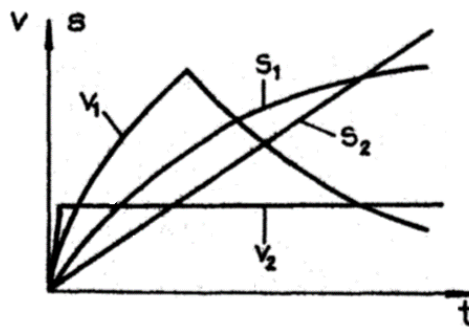


13. ábra Kétfokozatú szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű [17]

Egyfokozatú hajtómű a rakétát rövid idő alatt nagy sebességre gyorsítja, hogy a passzív szakaszon még megfelelő mozgási energiával és energetikai tartalékkal rendelkezzen.



14. ábra A start és menet hajtómű tolóereje [17]



15. ábra Egy- és kétfokozatú hajtóművek sebesség, illetve útviszonyai [17]

### Rakétákon alkalmazott torlósugarhajtómű felépítése

Torlósugarhajtóművel felszerelt rakéták különös ismertetője, hogy rendelkeznek valamilyen levegőbeömlő csatornával vagy csatornákkal. Ismert olyan rakéta, melynek a levegő beömlő csatornája külső megjelenésében a MiG-21 repülőgép beömlő csatornájára hasonlít. Jobban megvizsgálva a rakéta hajtóművének felépítését a hasonlóság fokozódik, ugyanis a rakéta második

fokozata nem más, mint az egyik korábbi, MiG repülőgép utánégető fokozata folyékony, kerozin üzemanyaggal (Krug 3M8 rakéta). Természetesen mire ez a hajtómű működésbe kezd a rakéta már megközelíti a 600 m/s-os repülési sebességet, amit négy darab szilárd hajtóanyagú, leváló rakétahajtómű biztosít [19] [20] [21] [22].

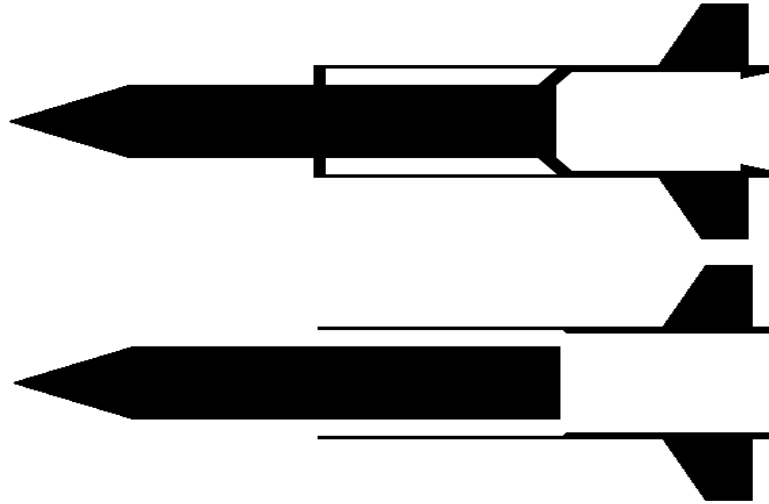
	Egyfokozatú		Kétfokozatú			
	SZ	F	I. fokozat		II. fokozat	
	SZ	F	SZ	F	SZ	F
RSz-2-USz (AA-1), R-3Sz (AA-2), R-8 (AA-3), R-38 (AA-4) R-4 (AA-5), R-40 (AA-6), R-23 (AA-7), R-60 (AA-8), R-27 (AA-10), R-73 (AA-11), R-77 (AA-12)	X					
H-55 (AS-15)		X***				
Krug 3M8 (SA-4)			X****			X**
Kub 3M9 (SA-6)			X		X*	
AS.11			X		X	
ASMP			X			X**
Kormoran			X		X*	
ANS			X		X*	
Martel			X		X	
Gabriel III A/S			X		X	
Penguin			X		X	
RB 05A				X		X
ACM, AGM-84A, AGM-86B		X***				
AIM-7, AIM-9, AIM-54, AIM-120	X					
ASAT			X		X	

SZ – szilárd; F – folyékony  
 \* torlósugar rakétahajtómű  
 \*\* kerozin hajtóanyagú, torlósugarhajtómű  
 \*\*\* gázturbinás sugárhajtómű  
 \*\*\*\* A Krug rakéta első fokozata valójában leváló hajtómű lépcső

4. táblázat Néhány rakéta és a hajtóműve [20]

A másik igen gyakran alkalmazott torlósugarhajtómű felépítését tekintve eltér az előbb említettől. A különbség az, hogy a levegő beömlő csatorna a rakéta testen kívül, az oldalán helyezkedik el. A leggyakrabban alkalmazott beömlőcsatorna szám a négy (pl. Kub 3M9 és a H-31 rakéták). Éppen ez az, ami nagyon sok félreértésre ad okot ugyanis felületes szemlélő számára ez a négy beömlőcsatorna úgy néz ki, mintha négy gyorsító fokozat lenne. Az ilyen típusú rakétahajtómű általában közös hengeres testben nyer elhelyezést a gyorsító hajtóművel egymás mögötti elrendezésben. A rakéta indulásakor csak a gyorsító fokozat indul és viszonylag rövid idő alatt nagymennyiségű szilárd hajtóanyagot éget el, progresszív égéssel a rakéta gyorsításához. A gyorsító fokozat kiegészével egy időben indul a második, menet vagy utazó fokozat, ami a kiegészítő hajtóműteret használja égőtérként, ahol megtörténik hajtóanyag elégetése a környező levegő segítségével. A levegő beömlő csatornák addig, míg a gyorsító fokozat működik lezárásra kerülnek egy speciális dugó segítségével. (16. ábra felső rajz). A dugókat a start hajtóműben uralkodó nagy nyomás tartja a helyükön mindaddig amíg a hajtómű nyomása magasabb, mint a dinamikus nyomás. Ez pedig a hajtómű kiegészéskor következhet csak be. Ekkor a dugók a dinamikus nyomás hatására beesnek az égőtérbe és rendszerint elégnek vagy távoznak a fúvókán keresztül. Az indító

hajtómű kiégésével egy időben szükség van a fúvóka keresztmetszetének megnövelésére a menet hajtómű igényeinek megfelelően (16. ábra alsó rajz). Ezt a leggyakrabban egy lerobbantható vagy fúvóka egységgel oldják meg. A menet hajtómű a hajtóanyag tekintetében lehet akár folyékony akár szilárd. Bármelyikről is legyen szó olyan összetételű, hogy az égéshez szükséges oxigént nem, vagy csak hiányos mértékben tartalmazza, így elengedhetetlen a külső levegő betáplálása a tökéletes égéshez [19] [20] [21] [22] [17] [18].



16. ábra A torlósugarhajtómű felépítése [21]

## A METEOR RAKÉTA FELÉPÍTÉSE

A Meteor nagyhatótávolságú irányítható légi harc rakéta feladata, hogy a létező és a jövőbeli, vizuálisan nem látható légi célok megsemmisítése, nappal és éjszaka, mellső és hátsó légtérből egyaránt, aktív rádió zavar alkalmazása esetén is.



17. ábra Meteor rakéta korai változata (rajz) [24]

A rakéta aerodinamikai felépítését tekintve fordított elrendezésű, azzal a különbséggel, hogy hiányoznak a szárnyai. A korai tervezési stádiumban készült rajzokon (17. ábra) még szerepeltek ezek a szárnyak, de a végleges változatról már lemaradtak (18. ábra).



A rakéta hajtóműve kétfokozatú. Az indító fokozat gyérfüstű, keverék hajtóanyagú és biztosítja a rakéta felgyorsítását, hogy a második fokozat – a torlósugar hajtómű – beindulhasson. A hajtómű második fokozata szilárd hajtóanyagú, torlósugarhajtómű, szabályozható tolóerővel. A gázgenerátor töltete telített bór alapú rakétahajtóanyag, melynek igen magas a fajlagos hőmenyisége, megközelíti az 5000 kJ/kg-ot. A cél helyzetétől és a repülési paraméterektől függően a gázok összetétele és mennyisége viszonylag széles határok között változtatható, melynek aránya 10:1. A szabályozást a gázgenerátor fúvókáján elhelyezett speciális fojtószeleppel valósítják meg [25]. Működési szempontból a gázgenerátor a hasonló hatótávolságú, hagyományos szilárd hajtóanyagú rakéta hajtóműhöz képest csak 35–40%-os töltési tömeggel bír [24].



18. ábra A Meteor rakéta végleges változata [26]

Elmondható, hogy a Meteor-t a hajtóműve teszi igazán különlegessé és kiemeli a hasonló légi-harc rakéták közül. A hajtómű égőtere és a gázgenerátor hőálló fémből, a levegő beömlők pedig titánötvözetből készültek. Érdekessége még a rakétának, hogy a levegőbeömlők hossztengety szerint aszimmetrikussá teszik a rakétát, mert csak 2 van belőlük, amik a törzs alsó felén helyezkednek el (19. ábra). A torlósugarhajtómű alkalmazása lehetővé teszi a röppálya középső szakaszán a sebesség növelését és így növelve a repülési távolságot.

A harcirész repesz-romboló, a tömege 25 kg, rádió közelségi gyújtóval és kontaktadóval szerelt, ami biztosítja a harcirész megfelelő távolságon történő felrobbantását. A rádiógyújtó 4 db antennája a célkoordinátor mögötti rekeszen található (19. ábra).

A rakéta kombinált irányítási rendszerrel rendelkezik. A röppálya első szakaszán inerciális-parancs, míg a másodikon aktív lokátor önirányítású.

**Megjegyzés, kiegészítés,** ha leírt adatok helytállóak, akkor a rakéta maximális indítási távolsága elérheti a 150 km. Ismerve a rakéta geometriai méretét – gondolok itt az átmérőre, ami 178 mm – akkor a célkoordinátor antenna mérete maximálisan 160 mm lehet. Egy ilyen méretű antenna célbefogási távolsága nem több, mint 40 km, vagyis 100 km rakéta indítási távolság esetében az első szakasz kb. 60–80 km, míg a második kb. 20–40 km. Természetesen ez a távolság a cél hatásos visszaverő felületétől nagy mértékben függ. Az alábbi összefüggés megmutatja, hogy a távolság függvényében hogyan csökken a vevőantennára visszaérkező teljesítmény  $P_r$ .

$$P_r = \frac{P_t G_t A_r \sigma F^4}{(4\pi)^2 R^4}$$

- $P_t$  – kisugárzott teljesítmény;
- $G_t$  – az adóantenna nyeresége (nem dB-ben, hanem természetes mérőszámokban);
- $A_r$  – a vevőantenna effektív apertúrája (felülete);

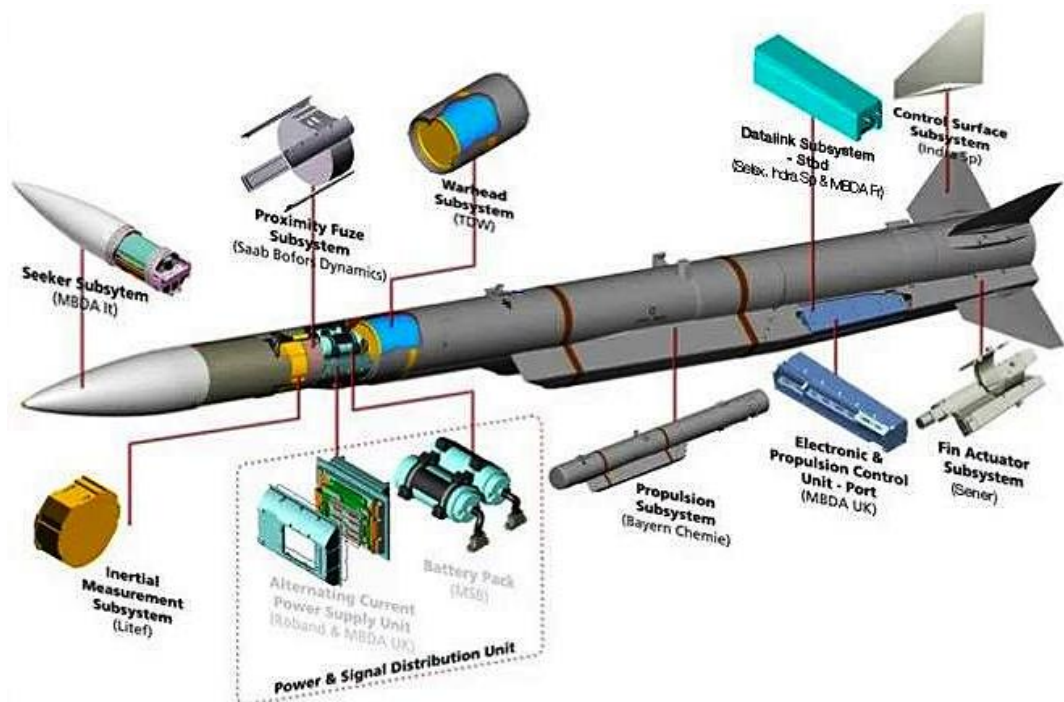
- $\sigma$  – radar keresztmetszet (hatásos visszaverő felület);
- $F$  – terjedési tényező;
- $R$  – az adó-vevő és a cél távolsága.

Elemézve az összefüggést látható, hogy a visszaérkező teljesítmény  $P_r$  fordítottan arányos a céltávolság 4. hatványával. Például 20 km céltávolság esetében a  $R^4 = 160\,000$ , míg 40 km esetén  $R^4 = 2\,560\,000$ . Ez azt jelenti, hogy 20 km-ről 16-szor nagyobb jel érkezik vissza, ha minden egyéb változót egyformának veszünk.

A rakéta kétoldalú aszinkron adatátviteli csatornával (DataLink) rendelkezik, mely lehetővé teszi, hogy adatokat fogadjon a hordozó-indító repülőgéptől és/vagy az egyéb együttműködő pl. légi korai figyelmeztető és ellenőrző repülőgépektől (Airborne Early Warning and Control Aircraft): AWACS, Embraer R-99, Boeing 737 AEW&C. Az adatok átadása során korrigálásra kerülhet a célzásból adódó vagy az inerciális navigáció távolsággal növekvő hibája.

A rakéta célkoordinátora aktív lokátor önirányítású (ARCK – aktív rádió célkoordinátor) és képes a kis radar keresztmetszettel rendelkező célok befogására is bármilyen rákurzuson. Ehhez a szabványos nagy ismétlődési frekvenciát kiegészítették egy közepessel. Ennek és a precíz jelfeldolgozásnak köszönhetően az ARCK képes követni és megsemmisíteni a célt a csoportos célon belül, még aktív rádió zavar és ellentevékenység esetén is.

A rakéta kivezetése az előretartási pontba és az utolsó szakaszon történő rávezetése módosított proporcionális rávezetés szerint történik. Irányítási módozatokról lásd bővebben a [27] irodalomban.



19. ábra A Meteor rakéta felépítése [28]

A rakéta felépítése a 19. ábra alapján:

- Seeker Subsystem – aktív rádió célkoordinátor (ARCK);
- Inertial Measurement Subsystem – inerciális navigációs alrendszer;
- Proximity Fuze Subsystem – közelségi rádiógyújtó;
- Warhead Subsystem – harcírész;

- ➔ Power & Signal Distribution Unit – energia és jel elosztó;
  - Alternating Current Power Supply Unit – váltakozó áramú tápfeszültség blokk;
  - Battery Pack – akkumulátorok;
- ➔ Propulsion Subsystem - Stod – hajtómű blokk;
- ➔ Datalink Subsystem – adattovábbító blokk;
- ➔ Electronic & Propulsion Control Unit – Port – elektronikus és hajtómű vezérlő egység;
- ➔ Control Surface Subsystem – kormányfelület;
- ➔ Fin Actuator Subsystem – kormánygépek.

**A rakéta harcászati-technikai adatai [13] [25]:**

- ➔ hossza: 3,65 m;
- ➔ átmérője: 178 mm;
- ➔ kormányok fesztávolsága: 630 mm;
- ➔ induló tömeg: 165 kg;
- ➔ harcirész: nagy-hatóerejű repesz-romboló;
- ➔ harcirész tömege (HR): 25 kg;
- ➔ hajtómű: szabályozható beömlőnyílású rakétahajtómű (TDR – Throttleable Ducted Rocket);
- ➔ alkalmazási/indítási távolság: több, mint 100 km;
- ➔ sebessége a hangsebességhez viszonyítva: 4 Mach körül;
- ➔ irányítási rendszer:
  - középtávig inerciális navigáció, pontosítással az adat link/csatorna segítségével;
  - végfázisban aktív lokátor önirányítás (Inertial Mid-course with Datalinked Updates, Active Radar);
- ➔ a cél maximális túlterhelése: 11-ig.

Az alábbi táblázat a világon ma ismert és nagy számban rendszeresített rakéták adatait tartalmazza összehasonlítóképpen.

Rakéta	AIM-120A	AIM-120C-7	R-77	Meteor
Megjelenés	1991	2006	1994	2013
Max. indítási távolság [km]	70	120	100	>100
Sebesség a hang sebességéhez viszonyítva [M]	4			
Hossz [mm]	3660	3660	3500	3650
Átmérő [mm]	178	178	200	178
Szárny fesztávolság [mm]	533	445	400	-
Kormány fesztávolság [mm]	635	447	700	630
Tömeg [kg]	157	161,5	175	185
HR tömege [kg]	23	20,5	22	25
HR típusa	HE BF*	HE BF*	HE BF* (pálcás)	HE BF*
Hajtómű	SFR**	SFR**	SFR**	SFR+Ramjet***
Irányítás típusa	INS + update via DataLink + ARH****			
*HE BF – High explosive blast-fragmentation – nagy hatóerejű repesz-romboló (az orosz R-77 esetében annak egy speciális változata pálcás megsemmisítő elemekkel.)				
** SFR Solid-Fuel Rocket motor – SzHRH – szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű				
*** SFR+Ramjet – SzHTH – szilárd hajtóanyagú torlósugarhajtómű				
**** Inertial guidance, update via datalink, terminal active radar homing – inerciális navigáció, parancs átadással az adatcsatornán, aktív lokátor önirányítás				

5 táblázat A Meteor és a hasonló kategóriájú rakéták adatai [29]

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az ismert adatok alapján megállapítható, hogy az európai MBDA konszernnek sikerült egy a 21. század követelményeinek megfelelő irányítható rakétát létrehoznia, mellyel potenciálisan piacot hódíthat el az amerikai AIM-120 rakéta elől. Nem véletlen a bevezetőben említett szagcímek. A rendszerbe állító országok száma emelkedőben van és az F-35 további terjedésével ez még emelkedhet is.

### ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra A Meteor rakéta [11]
2. ábra Az F-35 JSF Meteor rakétát indít a belső fegyverteréből [2]
3. ábra Rövid hatótávolságú légi harc rakéták fejlődése [15]
4. ábra Aktív önirányítás [14] [16]
5. ábra Félaktív önirányítás [14] [16]
6. ábra Passzív önirányítás [14] [16]
7. ábra Normál aerodinamikai elrendezés [17]
8. ábra Csupaszárny aerodinamikai elrendezés [17]
9. ábra Fordított (kacsa) aerodinamikai elrendezés [17]
10. ábra Forgatható szárnyas aerodinamikai elrendezés [17]
11. ábra Az irányító erő létrehozásának átmeneti folyamata [17]
12. ábra Szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű felépítése [17]
13. ábra Kétfokozatú szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű [17]
14. ábra A start és menet hajtómű tolóereje [17]
15. ábra Egy- és kétfokozatú hajtóművek sebesség, illetve útviszonyai [17]
16. ábra A torlósugarhajtómű felépítése [17] [21]
17. ábra Meteor rakéta korai változata (rajz) [24]
18. ábra A Meteor rakéta végleges változata [26]
19. ábra A Meteor rakéta felépítése [28]

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Medium, „MBDA’s Meteor - The Most Advanced Beyond-visual-range Air-to-Air Missile in the World,” [Online]. Available: <https://medium.com/@skunkworksLH/mbdas-meteor-the-most-advanced-beyond-visual-range-air-to-air-missile-in-the-world-ed91913c183c>.
- [2] Popular Mechanics, „Japan, U.K. Joining Forces to Make the World's Best Air-to-Air Missile,” [Online]. Available: <https://www.popularmechanics.com/military/research/a13968584/japan-uk-air-to-air-missile/>.
- [3] Daily Mail Online India, „Meteor missile deal set to win back India's aerial supremacy against rivals,” [Online]. Available: <https://www.dailymail.co.uk/indiahome/indianews/article-5192397/Meteor-missile-deal-win-Indias-aerial-supremacy.html>.
- [4] The National Interest, „The World's Best Aircraft-Killer Missile is Now in Service (And Its Not American),” [Online]. Available: <https://nationalinterest.org/blog/the-buzz/the-worlds-best-aircraft-killer-missile-now-service-its-not-17100>.
- [5] Wikipedia The Free Encyclopedia, „MBDA,” [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/MBDA>.
- [6] Wikipedia The Free Encyclopedia, „Meteor (missile),” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Meteor\\_\(missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Meteor_(missile)).
- [7] Wikipedia The Free Encyclopedia, „Leonardo S.p.A.,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo\\_S.p.A.](https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo_S.p.A.)
- [8] MBDA Missile Systems, „MBDA,” [Online]. Available: <https://www.mbda-systems.com/>.

- [9] The National Interest, „Why NATO's Enemies Should Fear the Meteor Aircraft-Killer Missile,” [Online]. Available: <https://nationalinterest.org/blog/the-buzz/why-natos-enemies-should-fear-the-meteor-aircraft-killer-20438>.
- [10] ThinkDefence, „Meteor BVRAAM,” [Online]. Available: <https://www.thinkdefence.co.uk/uk-complex-weapons/meteor-bvraam/>.
- [11] MBDA Missile System, „Meteor,” [Online]. Available: <https://www.mbda-systems.com/product/meteor/>.
- [12] Air Forces Technology, „Meteor – Beyond Visual Range Air-to-Air Missile (BVRAAM),” [Online]. Available: <https://www.airforce-technology.com/projects/meteor-beyond-visual-range-air-air-missile/>.
- [13] SAAB, „Meteor Beyond visual range air-to-air missile,” [Online]. Available: <https://saab.com/air/weapon-systems/air-to-air-missile-systems/meteor/>.
- [14] L. Szilvássy, *A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben*, Magyarország: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2008, pp. 1-129.
- [15] Rafael és Lockheed Martin, „Python 4 Short Range Air-to-air missile (CD-ROM),” 2000.
- [16] L. Szilvássy, „A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben,” *Elektronikus Műszaki Füzetek X.*, pp. 77-88, 2011.
- [17] J. Kakula, *Rakéták szerkezetana*, Szolnok: Magyar Néphadsereg Kilián György Repülőműszaki Főiskola, 1989, pp. 1-153.
- [18] J. Kakula, *Robbanóanyagok és a robbanás hatásai*, Szolnok: Magyar Néphadsereg Kilián György Repülőműszaki Főiskola, 1990, pp. 1-145.
- [19] Papp István, „Repülőfedélzeti irányítható rakéták,” *Repüléstudományi Közlemények 2017/2*, pp. 243-256.
- [20] L. Szilvássy és B. Békési, „Rakéta hajtóművek,” *Repüléstudományi Közlemények XI/1*, pp. 263-271, 1999.
- [21] L. Szilvássy és B. Békési, „Repülőfedélzeti rakéták hajtóművei,” *Bolyai Szemle Fiatal Tudósok Konferencián elhangzott előadás*, pp. 1-11, 2002.
- [22] L. Szilvássy és L. Szabó, „Rakéták reaktív hajtóművei,” *Repüléstudományi Közlemények XVIII/1*, pp. 209-216, 2006.
- [23] Szabó József (szerk.), *Hadtudományi lexikon*, Budapest: MHTT, 1995.
- [24] Planet Aerospace, „Long-range air-to-air missile Meteor: Far and fast with a Ramjet,” *Planet Aerospace*, %1. kötetNo.7, pp. 36-37.
- [25] Ракетная техника, „Авиационная ракета большой дальности Meteor,” [Online]. Available: <http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/meteor/meteor.shtml>.
- [26] The Drive, „Is the European Meteor Air-To-Air Missile Really the Best in the World?,” [Online]. Available: <http://www.thedrive.com/the-war-zone/4678/is-the-european-meteor-air-to-air-missile-really-the-best-in-the-world>.
- [27] I. Papp, G. Óvári és L. Szilvássy, „Derivation of the Fundamental Missile Guidance,” *AARMS*, %1. kötet4, pp. 341-348, 2015.
- [28] Невский Бастуон, „ПАКЕТА СРЕДНЕЙ ДАЛЬНОСТИ МЕТЕОР КЛАССА «ВОЗДУХ-ВОЗДУХ» (MBDA),” [Online]. Available: <http://nevskii-bastion.ru/meteor-mbda/>.
- [29] Википедия Свободная энциклопедия, „MBDA Meteor,” [Online]. Available: [https://ru.wikipedia.org/wiki/MBDA\\_Meteor](https://ru.wikipedia.org/wiki/MBDA_Meteor).
- [30] Wikipedia The Free Encyclopedia, „Request for information,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Request\\_for\\_information](https://en.wikipedia.org/wiki/Request_for_information).

---

### *METEOR MISSILE*

*The author introduces the best active BVR – Beyond Visual Range, active radar homing air to air missile that was in service in 2016. It also provides theoretical foundations for easier understanding of the rocket operation, demonstrates the rocket propulsion operation and categorizes missile rockets.*

**Keywords:** *Meteor missile, BVRAAM, Beyond Visual Range, Air to Air Missile, long range, active radar homing*

---

---

Dr. Szilvássy László  
alezredes, egyetemi docens  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Repülő Intézet  
Fedélzeti Rendszerek Tanszék  
szilvassy.laszlo@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-0455-4559

Szilvássy László, PhD  
Lieutenant Colonel, Associate Professor  
National University of Public Service  
Faculty of Military Science and Officer Training  
Institute of Military Aviation  
Department of Aircraft Onboard Systems  
szilvassy.laszlo@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-0455-4559

---



<http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2018.pdf>

---

**Márton Andrea**

## A FINN LÉGIERŐ TÖRTÉNETE II. RÉSZ

*Tanulmányomban folytatom a Finn Légierő történetének bemutatását. Az első részt az 1947-es békeszerződés megkötésével zártam le, ebben a részben a II. világháború utáni évek történetét és a hidegháború időszaka alatt bekövetkező változásokat mutatom be. A hidegháború időszaka alatt egy kis nemzet megmaradásának záloga a környezetében levő nagyhatalommal kialakított kapcsolata volt. Mint mindig, amikor a haderő fejlődéséről és fejlesztéséről beszélünk, nem lehet kikerülni az adott korszak geopolitikai és geostratégiai helyzetét, illetve az országnak ezekre a kihívásokra megfogalmazott válaszait.*

**Kulcsszavak:** Finnország, légierő történet, hidegháború, napjaink

Folytatva kutatásaimat ebben a tanulmányban a Finn Légierő történetének egy újabb részét fogom bemutatni. Ahogy a korábbi részben már írtam: minden kezdet nehéz..., ahogy az első részében a tanulmánynak bemutattam Finnország és az újonnan megalakult légierő is rendkívül sok nehézséggel birkózott meg. Azonban a Finn Légierő esetében a folytatás sem volt könnyű. A tanulmányomban a háború utáni éveket és a fogom bemutatni. A téma természetesen rendkívül sokrétű, hiszen a hidegháború éveinek elején járunk és a kialakuló új világrendben az egyes országok és ország csoportok helyzetéről és fejlődési lehetőségeiről itt még sokféle elképzelés élt. Természetesen az adott ország haderejének fejlődési és fejlesztési lehetőségeit meghatározta az, hogy a kialakuló új világrendben melyik későbbi táborhoz tartozott, illetve, hogy a világháborúban a vesztesek vagy a győztesek oldalán állt-e. A geopolitikai helyzet és a politikai döntéseket, melyek meghatározták, hogy milyen lehetőségek előtt állt Finnország csak annyira fogom bemutatni, hogy az adott haderőnem fejlesztési irányoknál egyértelműen jelezzem a választás milyen feltételek mellett valósult meg.

A Finn Légierő fejlesztése minden korszakban tudatosan történt, kihasználva a rendelkezésre álló valamennyi lehetőséget. Finnország nem félt tanulni más nemzetektől és számos külföldi szakemberrel működött együtt a kitűzött célok elérése érdekében. Ahogy ebben a részben látni fogjuk, a hadsereget a II. világháború után nagyon tudatosan szervezték újjá. Számos politikai döntés kellett, ahhoz, hogy az ország akkori gazdasági fejlettségi szintjén és a geopolitikai lehetőségei/ adottságai mellett ilyen tudatosan építse újjá a haderőt. Bár légierő történetéről írok, mégis az újjászervezés/újjáépítés mellett haderőt írtam, de ez részemről nem tévedés, hiszen a háborús évek lezárultával a teljes hadsereget át kellett alakítani, míg a légierőt a korszaknak megfelelően teljesen átalakítani és korszerűsíteni kellett.

Ahogy azt már a korábbi részben is írtam: a védelmi felülvizsgálatok alapján a fokozatos fejlesztés elveit betartva igyekezett az ország a lehetőségeihez mérten növelni a rendelkezésre álló repülőgépek számát. [13] Ez azonban a hidegháború kezdetén nem volt egyszerű feladat. Ahhoz, hogy megértsük honnan indult el a haderő átalakítása és újjászervezése, vissza kell mennünk 1945-ig a Folytatólagos Háború végéig és meg kell ismernünk a kialakult politikai helyzetben követett finn politikai magatartást.

Finnország a II. világháború után megerősítette semlegességi politikáját. A Téli Háború és a Folytatólagos Háború „eredménye” volt, hogy az ország felismerte: geostratégiai helyzeténél fogva meg kell erősítenie a semlegességi politikáját és javítania kell a Szovjetunióhoz fűződő



kapcsolatain. A Szovjetunió ellen vívott háború tapasztalatai és a finn nacionalizmus – amely ragaszkodik az állam által képviselt értékekhez, mint a szuverenitás és a területiség – váltak a hidegháború ideje alatt a finn biztonság- és védelempolitika alapköveivé.

Finnország kül- és biztonságpolitikája két szálon futott ebben az időszakban. Egyrészt fontos volt számára a keleti szomszédjával kialakított viszony, amely Barátsági, Együttműködési és Kölcsönös Segítségnyújtási Egyezményben [8] (BEKS) testesült meg. Másrészt további erőfeszítéseket tett a semlegességi politikájának erősítésére. Finnország ebben az időben nehéz helyzetben volt, mert nem volt egyszerű fenntartani az ellenállást a Szovjetunió nyomásával szemben. A finn döntéshozókban kialakult egy reálisnak tűnő lehetőség, amely biztosíthatja az ország pozícióját és biztonságát a Szovjetunióval egyetértésben. Miután 1946-ban Juho Kusti Paasikivi lett az elnök, igyekezett egy modernebb formában visszatérni az 1890-es évek elejétől 1917-ig már sikeresen alkalmazott „korlátozott megfelelés” politikájához. Paasikivi véleménye szerint részben Finnország reakciói vezettek a Szovjetunióval vívott háborúhoz. Hitt abban, hogy a „korlátozott megfelelés” politikája békés légkört teremt és visszaadja az ország mozgásszabadságát a külpolitika terén. Azonban az elnök derűlátását az események hosszú távon nem igazolták. A II. világháborút lezáró Párizsi Békeszerződések egy sor korlátozó intézkedést tartalmaztak az egykori náci szatellit államok számára. A katonai záradékok, addig nem voltak ismertek, amíg a szerződések tartalmát nem véglegesítették. Bár Finnországot sem értesítették a záradékról, a békeszerződés többi pontjának keménysége ellenére, a finnek erőfeszítéseket tettek annak érdekében, hogy a korlátozó katonai záradékok végrehajtását minél később hajtsák végre. A Finnország által aláírt békeszerződésben a Finn Védelmi Erő számára az alábbi korlátozásokat írtak elő:

- ➔ a szárazföldi haderőnem létszáma beleértve a határállomások, és a tüzérség létszámát nem lehet több 34 000 főnél;
- ➔ a haditengerészet létszáma 4500 fő és a hajók összömege maximum 10 000 t lehet;
- ➔ a légierő pedig maximum 60 légi járművel és 3000 fős létszámmal rendelkezhet. Ugyanakkor a haderőnem számára megtiltották a bombázók és a hordozóeszközök hadrendben tartását is;
- ➔ a békeszerződés 18. cikke megtiltotta az ország számára a nagymennyiségű hadianyag tárolását és beszerzését is;
- ➔ a békeszerződés ugyanakkor rendelkezett arról is, hogy az engedélyezett mennyiségű hadianyagon felüli készleteket át kell adni a Szövetséges hatalmaknak [17].

A korlátozó rendelkezések értelmezéséről a Szovjetunió és az Egyesült Királyság még 1947 évvégén sem tudott megállapodni. A finnek pedig nem próbáltak megfelelő információkat szerezni a kérdéskörben, így a finnek 580 000 puskát, 61 000 géppisztolyt és 20 000 géppuskát tartottak meg [17]. A légierő és a haditengerészet technikailag elavult gépekkel rendelkezett a háború végére.

1948 elején a Szovjetunió benyújtotta javaslatát a Barátsági, Együttműködési és Kölcsönös Segítségnyújtási Egyezmény aláírásáról. Bár Paasikivi elnök az ország számára károsnak tartotta a szerződést, megkezdte a tárgyalásokat annak érdekében, hogy garanciát kapjon az észak-keleti határ biztosításáról és megmaradjon az ország külpolitikai mozgástere. A szerződés alapvetően meghatározta a finn-szovjet viszonyt és Finnország kül- és biztonságpolitikáját a hidegháború ideje alatt. A finn biztonság- és védelempolitika szempontjából a szerződés lényeges eleme, hogy elismeri a semlegességi politikát.

Paasikivi utóda, Urho Kekkonen<sup>1</sup> kül- és biztonságpolitikájának logikája is a szerződés által kimondott semlegességről szólt, kijelentve, hogy egy kis ország, mint Finnország nem lehet nagy hatással a világ történéseire. „*Nemzeti érdek, hogy céljaink inkább alkalmazkodjanak a történelem aktuális feltételeihez, mint törekedni a feltételek megváltoztatására*”[25]. Finnország így passzív semlegességi politikát folytatott az 1950-es évek elején. A Szovjetunió szuperhatalommá válása és a nemzetközi események alátámasztották az ország politikájának helyességét. Finnország ebben az időszakban különös figyelmet fordított a szovjet reakciókra. 1952-ben megalakult az Északi Tanács, azonban a Szovjetunió kifogásolta Finnország részvételét, mert attól tartott, hogy a szervezet kapcsolódik az Észak-atlanti Szerződés Szervezetéhez. A Szovjetunió hasonlóképpen szót emelt Finnország tagsága ellen az Egyesült Nemzetek Szervezetében (ENSZ) is. Ezért Finnország kivárt, és a nemzetközi helyzet kedvező irányú változásakor az Északi Tanácsnak 1955 októberében, az Egyesült Nemzetek Szervezetének 1955 decemberében vált a tagjává. Mindazonáltal, hogy enyhítse a szovjet félelmeket, kijelentette, hogy az Északi Tanács biztonsággal kapcsolatos kérdéseinek megvitatásában nem vesz részt.

Az elnök törekedett a külpolitikai mozgástér növelésére. *Paasikivi külpolitikai törekvéseit siker koronázta, hiszen visszacsatolták Porkkala kikötőjét* [3]. A katonai bázis visszaadása egyben azt is jelentette, hogy Finnország területét elhagyták a szovjet katonák. Ezzel a lépéssel Finnország újra visszanyerte korlátozott önrendelkezését. A haditengerészeti támaszpont 1956. január 26-ai hivatalos visszaadásával elhárult az akadály az ország semlegessége elől, ami azonban nem jelentette az automatikus nemzetközi elismerést. Finnország státuszát ugyanis nem rögzítette egyetlen nemzetközi szerződés sem. Az ország a gyakorlatban folytatott semlegességi politikát, amit a nemzetközi politika szereplői előbb-utóbb vagy elismertek és ennek megfelelően építettek kapcsolatokat az országgal, vagy nem [22].

Bár Finnország a maga módján sikeresen kezelte a Szovjetunióval kötött szerződést, mégis hatalmas kihívás előtt állt a nemzetközi helyzetben 1956-ban bekövetkezett rapid változás (Szuzei-válság, magyar forradalom) miatt. Ebben az évben indult az ENSZ első békefenntartó missziója<sup>2</sup>. Az országnak döntenie kellett, részt vesz-e benne. A részvétel mellett döntött és ezzel egy új fejezet nyílt a finn biztonság- és védelempolitikában.

A történelmi áttekintésből jól látható, hogy Finnország politikailag nem volt egyszerű helyzetben, bár az ország vezető politikusai mindent igyekeztek megtenni az ország külpolitikai mozgásterének növelése érdekében a békeszerződés katonai záradéka és az ország geopolitikai és geostratégiai helyzete megnehezítette a katonai politika fejlesztését és ezzel együtt a Finn Védelmi Erő újjászervezését.

---

<sup>1</sup> Urho Kekkonen: finn köztársasági elnök, már egyetemistaként is élénken foglalkozott a politikával, de igazi politikusi pályája 1936-ban kezdődött, amikor a finn országgyűlés (Eduskunta) tagjává választották az Agrár Párt színeiben. 1936-1937 között igazságügy miniszter, 1937-1939 között belügyminiszter. 1950-1956 között négyszer is betöltötte a miniszterelnöki posztot. 1956.02.15-én (151:149 szavazati arányban) köztársasági elnökké választották.

<sup>2</sup> UNEF I.: First United Nations Emergency Force – az ENSZ első Rendkívüli Hadereje; Fennállásának ideje: 1956 novemberétől-1967 júniusáig. Főhadiszállás: Gáza

## A VÉDELMI DOKTRÍNA ALAPELVEI

Az új geopolitikai helyzet a hidegháború kezdete megkövetelte, hogy Finnország vizsgálja felül a Finn Védelmi Erő szervezetét, a korábban létrehozott funkciókat és pozíciókat, hogy a soron következő honvédelmi felülvizsgálat után létre lehessen hozni a békeidőszak katonai szervezetét. A kormány 1945 májusában kinevezett egy parlamenti bizottságot, melynek a tagjai között politikusok és öt katonatiszt volt. A parlamenti bizottság elvégezte a szükséges vizsgálatokat 1946 évvégére, azonban az általuk készített jelentés 1949-ig nem tekintették befejezettnek. Ennek oka az volt, hogy az előző részben felvázolt politikai helyzetben késve fogadták el a politikai és fejlesztési irányelveket, valamint a békeszerződés korlátozó katonai záradékának értelmezése körüli viták, a belső politikai és társadalmi konfliktusok, valamint a BEKS szerződés aláírása teremtette helyzetet. Bár a parlamenti bizottság tagjainak eltérő politikai nézetei bemutatásra kerültek, a legfontosabb kérdésekben általános konszenzus alakult ki. A védelmi képesség fenntartásának szükségessége nem kérdőjeleződött meg. A védelem megtartására irányuló javaslatok minimális költségvetéssel, melyet a háború utáni gazdasági nehézségekkel indokoltak számoltak. A védelmi felülvizsgálat készítői szerint fontos volt a katonai képzéshez kapcsolódó erkölcsi élet újjáélesztése, annak érdekében, hogy ne egy „népi hadsereg” jöjjön létre.

Ebben az időszakban a legfontosabb dokumentum Erik Heinrichs gyalogsági tábornok által kiadott memorandum volt, melyet a korábbi megbeszélések alapján írt. Amikor a bizalmas jellegű dokumentumot nyilvánosságra hozta a parlamenti bizottság tagjai meglepődtek a korábbi radikális nézetek és hangnem mennyit változott a megbeszélések 1945-ös kezdete óta. A tábornok szerint észak lett a nagyhatalmak számára a meghatározó stratégiai irány ezért lenne fontos a Szovjetunióval a BEKS szerződés megkötése, hiszen így a szovjet tartalékok is felhasználhatók a finn terület védelmére, korábban még, mint a hadsereg főparancsnoka hasonló jellegű együttműködést javasolt a haditengerészeti védelem megteremtése érdekében a Finn-öbölben. Ugyanakkor szerinte semmiféle unió nem ajánlható fel.

A katonai doktrína létrehozásának alapelveit a védelmi felülvizsgálat és a megváltozott geostratégiai és geopolitikai helyzet alapján dolgozták ki. A War College igazgatója Tapola vezérőrnagy azzal érvelt, hogy a háborúban megjelent új fegyverek nem forradalmasítják rövidtávon a hadviselést, ugyanakkor az új fegyverek adta lehetőségeket ki kell használni. A hatékony védelmi képesség fenntartására mindig szükség van és az ország számára előnyös lenne egy területi védelmi rendszerre történő áttérés. A területi védelmi rendszer lehetőséget ad a tartalékok gyors mozgósítására és arra is, hogy szervezett keretek között tartsák mindezt. A területi védelem alapelve, hogy a regionális szervezeteket és valamennyi védelemmel kapcsolatos katonai műveletet egy egységes parancsnoki rendszer alá rendeli, ez az elv már a védelmi felülvizsgálat korai szakaszában megkapta a parlamenti bizottságtól a támogatást. Ugyanakkor a polgári gárda, mely a háború idején a honvédelem részeként működött feloszlott. A politikai baloldal azonban a doktrínában megfogalmazott alapelvvel szembe helyezkedett. A területi alapú szervezés kérdésköre és fontossága, valamint a mozgósítási műveletek prioritásai a teljes védelmi időszak alatt ellentmondásosok maradtak. A békeszerződés aláírása csúszott 1947-ben. A parlamenti bizottság tagjai megtették mindent annak érdekében, hogy a békeszerződésbe foglalt korlátozó intézkedések gyakorlati következményeit – köztük a háborús anyag leadást, valamint a Védelmi Erő létszámának a felső határát – tisztázzák. A létszámkorlátozást például békeidőben 41 900 főben határozta meg. Ezért a parlamenti bizottság szerint nagyszámú tartalékcsapat

kell az ország háború elleni védelme érdekében. Ugyanakkor számos más stratégiai szempont felsorolt a jelentés. Ilyen volt az általános hadkötelezettség bevezetése, illetve a védelmi erők hatékonyságának növelése. A parlamenti vizsgálóbizottság szerint a rendszernek könnyen megvalósíthatónak kell lennie és a „területi rendszerből” kiindulva a szervezet gyorsan képes békeidőbeli szervezetből háborús szervezetté alakulni.

A védelmi felülvizsgálatot végző parlamenti bizottság javaslatai között szerepelt, hogy a kiadott új rendőrségi törvénynek összhangban kell lenni a régivel és a védelmi doktrína alapelveivel, ugyanakkor a katonai szolgálat idejét le kell rövidíteni, amit a részben a gazdasági helyzettel, részben pedig a békeszerződés korlátozásaival és a BEKS szerződéssel magyaráztak. A javaslat szerint az alapkiképzés 240 nap, míg a speciális felkészítés 330 nap és az éves felfrissítő szolgálat 40–100 nap között változik. Sihvo tábornok a Finn Védelmi Erő főparancsnoka támogatta a változtatásokat, melyeket a parlamenti bizottság javasolt, ugyanakkor ő maga is számos ajánlást tett a gyakorlati megvalósításhoz. A tábornok három védelmi körzetet és a dandár helyett ezred szintű szervezeti egységeket javasolt. Indoklásában a jobb és gyorsabb telepíthetőséget, a kisebb mozgékonyabb szervezetet, a rugalmasságot és az együttműködést a szervezet különböző haderőmei között jelölte meg. A főparancsnok arra is rámutatott, hogy a tengerpart védelmét ellátó tüzérség és a légierő csapatai fontosak és meg kell őrizni őket. A védelmi doktrínában megjelölt területvédelem, mint alapelv szükségessé tette a parancsnoki rendszer központosítását is. Ugyanakkor a tábornok rámutatott arra is, hogy mind a légierő, mind pedig a haditengerészet vezetése nagyon kicsi szervezeti egység lesz az új rendszerben.

A kialakult politikai helyzetben, ahogy az látható, védelmi doktrína nagyon lassan készült el. A háborúban született és edződött nemzet és hadereje a II. világháború befejezése után a hidegháború kezdetén egy új helyzetben találta magát. Ahogy tanulmányom első részében írtam a légierő számos géptípust használt, ugyanakkor a háború során számos géptípus megsemmisült és a békeszerződés korlátozó rendelkezései tovább nehezítették a haderőnem át és részben újjaszervezésének lehetőségeit.

A II. világháború után a légierő jelentősége megnőtt. A hidegháború ideje alatt pedig a repülőgépek egyre gyorsabban fejlődtek, új és korszerű légvédelmi rendszereket fejlesztettek ki a stratégiai bombázások ellen. A kialakuló hidegháborúban a légierő egyre fontosabb szerepet játszott. Bár az 1950-es években a katonai repülés gyors fejlődésnek indult a világ többi részén a Finn Légierőben egy negatív irányú folyamat volt megfigyelhető. A világháborús részvétel után fizetett jóvátétel, a nehéz gazdasági helyzet és a légierő magas fejlesztési költségigénye nem tette lehetővé a fejlesztések beindítását. Sihvo tábornok 1949 telén írt levelet a köztársasági elnöknek, amelyben azzal érvelt, hogy az Észak-Atlanti Szerződés Szervezetének (NATO) létrejötte után újra kell értékelni Finnország politikai és katonai pozícióját. Míg a szárazföldi haderőnem operatív képességét elegendőnek, addig a haditengerészet és a légierő képességeit kritikusnak ítélte meg. A tábornok azt javasolta, hogy a radarberendezéseket minél előbb telepítsenek az ország megfelelő részeire és javítsák a polgári védelmi felkészítést. A szükséges előkészületeket a védelem gazdaság területén fokozni kell, hogy az ország képes legyen ellátni a lakosságot egy háború vagy egy elhúzódó válság esetén is. Mindezekre az intézkedésekre azért volt szükség, mert a Koreai háború kitörése után megélnékült a légiforgalom az ország északi részén és az Amerikai Egyesült Államok repülőgépei átszivárogtak az ország légtérén. Mindez azért volt problémás, mert a korábban aláírt BEKS szerződés miatt fennállt a veszélye, hogy a Szovjetunió saját légtér ellenőrző rendszert alakít ki. A légierő képességeinek javítására azért

is szükség volt rövid időn belül, mert Sihvo tábornok által írt levél rámutatott arra, hogy Finnország képtelen ellenőrizni a saját légterét. A hangsúly ebben a kontextusban a megfelelő haderő fenntartása mellett, a légtér ellenőrzési és légi irányítási képességek újjászervezésén és a készenléti állapot javításán volt. A légierőnek szüksége volt a korszak modern kommunikációs berendezéseire, radarokra és új típusú repülőgépekre. Összességében a kialakult geopolitikai és geostratégiai helyzetben mindez azért volt kiemelkedően fontos, mert a hiteles védelem hiánya ellentmondott Finnország semlegességi törekvéseinek<sup>3</sup>. 1952-ben a Védelmi Tanács egy jelentést készített Finnország nemzeti védelmi képességeiről. Ebben megállapították, hogy a légierő működésének legfőbb akadálya a szakképzett személyzet hiánya, a kevés repülőtér és a szükséges radar, illetve kommunikációs berendezések hiánya okozta. A dokumentum azt is kijelentette, hogy mindezen hiányosságok miatt a légierő nem képes a feladatait ellátni. A vezérkar kidolgozott két olyan programot, amelynek célja az alapkészségek megszerzése és a védelmi felkészülés növelése volt. A cél az volt, hogy a programok megszüntessék a légierő képesség hiányait, beleértve a modern repülőgéptípusok beszerzését is. Ezek a programok alacsony költségvetéssel indultak, később azonban jelentősen megemelték a költségvetéseiket. Ugyanakkor a Légierő is kidolgozott egy javaslatot a békeidőszak beszerzéseire [11]. A beszerzési program keretén belül 60 db vadászipülőgép, 20 db felderítő és szállító gép, valamint 60 db kiképző repülőgép és 42 db oktató repülőgép beszerzését javasolta [12]. A javasolt program költségei miatt életképtelen volt. A légierő álláspontja a beszerzéseket illetően az volt, hogy a korábban javasolt 20–30 vadászipülőgép, és a radar beszerzése, illetve 2 légibázis rekonstrukciója a légierő képességihiányának csak egy részét orvosolja. Ez a beszerzési program nem tartalmazta a felderítő és egyéb gyakorló gépek beszerzését, továbbá a repülőterek felújítását, amely legalább olyan fontos volt a légierőnek, mint a gépek vásárlása.



1. ábra Messerschmitt Bf 109G-6 [14]

---

<sup>3</sup> Finnország semlegességét egyetlen nemzetközi szerződés sem rögzíti, így az ország csak a nemzetközi politikában képviselt magatartásával vívhatja ki, hogy semlegesnek tekintés.

Bár még az 1950-es években is éltek a párizsi Békeszerződés korlátozásai a Finn Légierő elkezdte használni a Messerschmit Bf 109G-6-os vadászrepülőgépeket<sup>4</sup>.

Míg a szomszédos nagyhatalom a Szovjetunió a MiG-15-ös vadászrepülőgépet állította hadrendbe, addig Svédország bemutatta első vadászrepülőgépeit. A svéd légierő fejlesztései megakadályozták, hogy Finnország egy katonai vákuumba kerüljön. A hidegháború fokozódott az egész világon és Európában is, melynek egyik kiváltó oka a magyar felkelés volt. Ebben az időszakban elindult Németország újrafegyverzése és a Szovjetunió növelte a sugárhajtású vadászrepülőgépeinek a számát, azonban a semleges országoknak nem akart eladni belőle. Finnország meglehetősen szegény állam volt ebben a korszakban, így olcsó gépeket vásárolt. Viszont Anglia nem volt szégyenlős, és eladta Finnországnak a 6 db De Havilland D.H. 100 típusú vadászrepülőgépet. Ezek a gépek voltak a Finn Légierő első fighter-típusú repülőgépei.



2. ábra De Havilland D.H.100 repülőgép [2]

A de Havilland D.H.100 Vampire egy brit sugárhajtású repülőgép volt, amelyet a II. világháború alatt terveztek, azonban hadrendbe állítása csak a háború után történt meg. A géptípust szerte a világon 31 ország használta és mintegy 3300 db gyártottak belőle. A legyártott gépek körülbelül egynegyedét más országok gyártották licenz alapján. A repülőgép a hagyományos-tól eltérő kialakításával az első sorozatban gyártott egymotoros brit sugárhajtású repülőgép volt. A hajtóműhöz tervezték a kéttörzsű orrkerekes futóművel ellátott, teljesen fémépítésű, négy gépágyúval ellátott vadászgépet a D.H.99-et. A kettős törzs lehetővé tette, hogy a sugárhajtóművet a hagyományos felépítésű törzsnél szükséges hosszú fúvócső nélkül építsék be. Később a sárkányt vegyes fa és fémszerkezetűre változtatták és az új terv neve lett D.H. 100. A vadászgép 9,37 m hosszú, fesztávja: 1,58 m, magassága: 2,69 m, míg a szárnyfelülete: 24,34 m. A repülőgép hatótávolsága 1960 km, míg legnagyobb sebessége 882 km/h a fegyverzete pedig 4×20 mm Hispano-Suiza HS 404 gépágyú és 2×225 kg bomba volt [26]. Annak ellenére, hogy Finnország olcsó vadászgépeket vásárolt a külföldről, az Állami Repülőgépgyár által tervezett és épített Vihuri kiképző repülőgép kulcsfontosságú volt a légierő fejlesztésében. Bár a repülőgép számos nagy nyilvánosságot kapott baleset szereplője volt, a légierőnek szüksége volt kiképző-repülőgépre. Az erőfeszítések ellenére a légierő tényleges fejlesztésekben csak az 1950-es évtized végén tudott bekapcsolódni. A de Havilland D.H.100 beszerzését követően 1958-ban

---

<sup>4</sup> A repülőgéptípust a Finn Légierő 1940-es években kezdte használni, 1943-1944-re már 159 db-ban rendelkezett.



kapta meg a légierő az első 13 db Folland Gnat típusú repülőgépet, amelyből 11 db vadászgép és 2 db felderítőgép volt. A géptípusról hamarosan kiderült, hogy rendkívül problémás légi-jármű és nagyon sok karbantartást igényelt. A finnországi körülmények, főként a téli viszonyok között a géptípus használata problematikusnak bizonyult. A géptípus a hidraulikus rendszer műszaki hibái miatt félévig nem repülhetett. Miután a kezdeti műszaki hibákat kiküszöbölték a repülőgép rendkívül jó manőverező képességűnek bizonyult. Itt kell megemlíteni, hogy repülőgép Finnországban lépte át a hangsebességet először. A Folland Gnatot 1972-ben vonták ki az aktív szolgálatból [26].



3. ábra Folland Gnat F-1 [27]

A Folland Gnat beszerzése után a finn légierőnek további két repülőgép vásárlása volt, amelyek később rendkívül értékesnek bizonyultak az idő múlásával. A Saab Safir kiképző és a Fouga Magister oktatógépek az 1980-as évekig üzemeltek. A két géptípus kiválóan szolgált a pilóták felkészítését.



4. ábra Saab 91D Safir kiképző repülőgép [28]



A repülőgép egy svéd négyülékes kiképzőgép, melynek prototípusa 1945. november 20-án repült először. A finn légierő a Kuahava légierő akadémián használta a gépeket. A repülőgéptípus miután kivonták a hadrendből, 1982-ből, 3 db átkerült a Határőrséghez, a többi polgári használatra adták el [29].

Az 1958-as évben vonták ki a hadrendből a megmaradt Bristol Blenheim bombázó repülőgépeket. Bár a stratégiai környezet megváltozott és az 1950-es években a politikai enyhülés is megkezdődött a Finnország és Oroszország között, Finnország egészére kiterjedő radarrendszer kiépítése is, valamint a földalatti létesítményekben található légvédelmi parancsnokságok és ellenőrző pontok létesítése is elkezdődött. Habár a légierő helyzetéről és az évtized végén bekövetkező fejlesztésekről már szó esett, tekintsük át a helikopterek alkalmazását.

A világháborúban a helikoptereket csak kismértékben használták fel a különböző feladatokban, mint például a közlekedés vagy a kutatás és mentési feladatokban. A helikopterek alkalmazásának jelentősége a különböző hadszíntereken csak lassan nőtt a II. világháború után. Az 1940-es évek végén a helikopterfejlesztés felgyorsult, számuk is növekedni kezdett és feladatkörük is bővült. Az 1950–53-as koreai háború adta az Amerikai Egyesült Államok számára helikopterek alkalmazásának széleskörű tapasztalatait. A franciák is használtak helikoptereket a katonai műveletek során. Azonban a helikopterek jelentősége 1946 és 1954 közötti indokínai háborúban még mindig kisebb volt, mint az 1954–62 között az algériai háború idején [18].

Az első helikopteres repülést a turkui repülőtéren hajtották végre 1949-ben, egy Svédországban regisztrált helikopterrel [30]. Finnországban az első helikoptert 1953-ban jegyezték be, melyet az Imatran Voima vállalat vásárolt meg. A légierő helikopteres műveletei is a vállalat által vásárolt gépekkel kezdődtek meg. A légierő kiképezte a személyzetet és felállította a szükséges műszaki létesítményeket, cserébe saját műveleteihez használhatta a gépeket. A Finn Védelmi Erők első saját helikopterei csak a tapasztalatok megszerzése után kerültek beszerzésre [12].

1961-ben kapta meg a finn légierő az első 4 db WSK SM-1 könnyű helikoptert. Ezek a gépek a lengyel licensszel gyártott szovjet Mi-1 típus volt. A következő évben érkezett meg a 3 db Mi-4 közepes szállítóhelikopter. A középnehéz szállítóhelikopterek megnövekedett szállítási kapacitása sokoldalúbb feladatszabást tett lehetővé. Az Mi-4 szállítóhelikopter flottát csak 1979-ben helyezték üzemem kívül [18]. Itt kell megemlíteni, hogy Finnország stratégiai mozgásterét a katonai felszerelések tekintetében a korábban bemutatott politikai helyzet és a korszak világpolitikai eseményei miatt erősen korlátozott volt.

### **A szuperszonikus korszak, az 1960-as évek**

Az 1960-as években a légiközlekedés és a repülőgépek fejlődési üteme egyre inkább felgyorsult és egyre magasabb követelményeket támasztott a légiforgalom irányításával, a légtérelenőrzéssel, valamint a repülőgépek képességei szemben. Ez az időszak volt a szuperszonikus korszak kezdete. A repülőgépek fejlődése miatt a korszak repülőeszközei már sokszor a hang sebességével, akár 10 000 méteres magasságban közlekedtek a légtérben. A légierő által az 1950-es években beszerzett repülőgépek az új helyzetben már csak korlátozottan voltak képesek ellátni a légtér-ellenőrzési feladataikat. A feladatszabásnak legjobban megfelelő gépek a Folland Gnat F-1-esek voltak, azonban a kialakult helyzetben számos más tényező, mint például légi-irányítási és ellenőrzési rendszer korszerűtlensége is hátráltatta a sikeres feladatellátást.

A helyzet 1962-ben változott meg, amikor a gazdasági helyzet javulása után a Finn Légierő beszerzett egy századnyi MiG-21F típusú elfogóvadászrepülőgépet a Szovjetunióból. A típus a vásárlás idején rendkívül korszerűnek számított és még nemzetközi összehasonlításban is elérte a Mach 2-et.



5. ábra MiG-21 F [15]

A légierő harci képességeit tovább javította, hogy a korszakban a párizsi békeszerződések katonai felszerelések beszerzésére és használatára vonatkozó korlátozó intézkedéseket ugyan nem enyhítették, azonban számos korszerű felszerelés beszerzését engedélyezték. Így tudta beszerezni a légierő a R-13 infravörös rakétákat is. Amellett, hogy a harci képességeket javították a légierő nagy léptékben kezdte fejleszteni a parancsnoki és ellenőrzési, valamint a légtér-felügyeleti rendszereit is. Már az 1950-es években kiterjesztették a radarhálózatot az ország teljes területére, azonban a korszakban beszerzett nagy-hatótávolságú radarhálózat jelentősen javította a megfigyelőképességet. Ugyancsak az 1960-as években kezdte meg a légierő az ország területén elszórtan található közúti bázisok létrehozását. Ennek a magyarázata ország által a korszakra már kialakított semlegességi politika következményei, illetve, hogy a kubai rakétaválság idején, és nemcsak akkor, Finnország fokozottan figyelembe vette a Szovjetunió érdekeit. Nem szabad megfeledkeznünk arról a tényről, hogy Finnországnak és Szovjetunióknak (ma Oroszországnak) 1340 km-es közös határszakasza van, így a légierő fejlesztésével kapcsolatos lépéseket mindig e kontextusban is értékelni kell. Hozzá kell tenni azonban, hogy biztonság- és védelempolitikai szempontból a kisállam nagyhatalom, ez esetben kapcsolata a szuperhatalommal mindig különleges alkalmazkodást igényel. A katonai erőről és nemzet védelemről szóló viták és cikkek már az 1950-es évek közepén Finnország ENSZ tagsága idején megjelentek. Azonban a geopolitikai helyzet alakulása és a fennálló BEKS szerződés keretei között kellett megtalálni azt a kényes egyensúlyt, ahol a kitűzött politikai célokat a lehető legjobban lehet érvényesíteni. A katonai erőről szóló elképzelések középpontjában a fejlesztések lehetőségeinek megteremtése, egy hosszútávú gazdaságilag is fenntartható, hatékony haderő kialakítása állt. Mindezen elképzelések és a világpolitikai helyzet megváltozása, valamint, a területvédelem elveinek „részleges sérülései” rákényszer-

rítették az országot a védelmi stratégia felülvizsgálatára. A poszt-háborús periódus első védelempolitikai stratégiája 1949-ben készült el. A stratégiában meghatározott és időközben felállított minisztériumi szervezetek (Katonai Főparancsnokság) tovább bővültek. Az 1950-es években a Katonai Főparancsnokság egy gazdasági részleggel bővült, míg a nemzetvédelemmel kapcsolatos elvek és jogszabályok fejlődése következtében kiadták a 1958-ban Civil Védelemről szóló törvényt. Jogszabályi változások alapjait Finnország világháborús tapasztalatai adták. A jogszabály alapján megkezdődött a polgári óvóhelyek kiépítése, amely a városokban biztosította a polgárok túlélését, azonban a vidéki lakosság e védelmi rendszer nélkül maradt. A törvény gyenge pontjaira az 1960-as években bekövetkezett technikai fejlődés mutatott rá [17]. Bár a jogszabályok alapját a Civil Védelemről szóló törvény adta, a katonai védelmi tervezésről és a képzésről megjelent egy új kézikönyv, amely a „*Kiemelt védelem mélységei az új harctéren*” címet kapta. Az általános részben bemutatja a háború modern koncepcióját és a terület alapú védelmet. Itt fogalmazták meg először, hogy a teljes nemzeti védelemnek el kell látnia politikai, igazgatási, katonai, gazdasági, pszichológiai, és polgári védelmi feladatokat. A védelem feladata: az ország területi integritásának megőrzése és a semlegesség biztosítása, valamint a védelmi erők mobilizálása és telepítése és ezek védelme, továbbá a katonai műveletek végrehajtása. A kézikönyv meghatározta a hadsereg fogalmát. Továbbá megkülönböztette az előkészületi műveletek szakaszait úgy, mint: békeidő, háborús fenyegetés, védelem, semlegesség és háború. A különböző műveleteket olyan esetekre kell az alapvető stratégiai terv alapján összeállítani, amikor a nukleáris fegyverek alkalmazása valószínűnek tűnik. A területvédelmi alapelvvel összhangban a Védelmi Erők Főparancsnoka az országot nemzeti védelmi területekre osztotta, melyhez több katonai körzet is kapcsolódott. A kiadott doktrína részletesen leírta a stratégiai védelem szakaszait is, melyeket idő és hely alapján határozott meg, valamint kiemelte a gerillaharc fontosságát is. A Védelmi Erők Főparancsnoka [17] részt vett minden katonai művelet előkészítésében. A háborús időszak alatt a védelmi területek adták a parancsnokok felelősségi területét, akkor is, ha a kommunikáció megszakadt [17].

Az 1960-as évek elején a Katonai Főparancsnokság további szervezeti egységekkel bővült. Ebben az időszakban jött létre a Tudományos Bizottság, a Pszichológiai Védelemért felelős Bizottság, valamint a Média és Kommunikációs Tanácsadó testület. Védelmi Tanácsban döntés született arról is, hogy országszerte regionális nemzetvédelmi oktatást tartanak a Katonai Főiskolán és a tartományokban. Ez a döntés nagy hatással volt a védelmi doktrínára, hiszen így a nyilvánosság is megismerhette az alapelveket és áttekintést kapott a védelmi rendszerről [17]. 1963-ban kiadták a „*Kiemelt védelem mélységei az új harctéren*” című katonai kézikönyvet. Ez a dokumentum már nem fektetett kiemelt hangsúlyt a nukleáris fegyverekre és az ellenük való védekezésre. A dokumentum főhangsúlya a támadó csapatok visszaszorítására és az aktív ellenintézkedések megtételére irányult. A dokumentum továbbá világos kereteket határozott meg a Védelmi Erő működésére, illetve leírta az ehhez szükséges követelményeket [17].

Ebben a korszakban már az ország gazdasági helyzete és nemzetközi politikai kapcsolatrendszere lehetővé tette a Védelmi Erő fejlesztését. Míg a légierő a korábban MiG-21F elfogó vadászrepülőgépekkel bővült a légtér-ellenőrzési és a rakétaelhárító rendszer meglehetősen elmaradott résznek bizonyult. Így a beszerzések a radarberendezések cseréjére és korszerűsítésére és bővítésére, valamint a rakétaelhárító rendszer beszerzésére irányult. A Beszerzési programban megfogalmazott célok, melyek a nemzeti védelem fejlesztésére és a haderőnemek, kiváltképpen a légierő és a haditengerészet hiányosságainak megszüntetésére irányultak csak részben

valósult meg. A programban megfogalmazott célok nem változtak, azonban rendkívüli kihívások időközben megváltoztak vagy teljes egészében megszűntek. A program felhívta a figyelmet a védelmi költségvetés emelésének szükségességére, amivel politikai döntéshozók nem értettek egyet [17].

Az 1960-as években folyamatos politikai viták határozták meg a haderő és benne a légierő haderőnem fejlesztésének lehetőségeit. Az évtized politikai történései a gyors haditechnikai fejlődés, valamint a védelmi szektorral kapcsolatban megfogalmazott kritikák hitelességi válságot idéztek elő. A hitelességi válság fő okozója az atomfegyverek fejlesztése és a hozzákapcsolódó mennyiségi és minőségi mutatók voltak.

Az elkövetkező évtizedben (1970-es évek) Svédországból beszerzett Saab Draken vadászpilótárepülőgépek beszerzése lehetővé tette a légierő számára, hogy a Finnország különleges időjárási körülményei között is képes legyen a harci műveletekre.



6. ábra Saab Draken [20]

A repülőgép típust Svédországban fejlesztették ki, melyet 1955 és 1974 között gyártottak. Ez volt az első szuperszonikus repülőgép, melyet Nyugat-Európában használtak. A vadászpilótárepülőgépet már 1961-ben értékelte a Lingköping-i gyárban és összehasonlította a francia Mirage III repülőgéppel. A finn parlament politikai okok miatt csak 1970-ben egyezett bele, hogy 12 db Saab Draken 35 XS rendeljen és a 6 db idősebb (35B) gépet béreljen. A megvásárolt repülőgépeket a Kuorevesi Valmet gyárban szerelték össze. A beszerzés azt eredményezte, hogy a légierő vadászgépeinek fele Nyugatról fele pedig Keletről származott. A légierő összesen 48 Saab Draken vadászpilótárepülőgépet vásárolt 4 különböző változatban [31].

A Saab Draken legfontosabb új funkciói a légierő korábbi repülőgépeihez képest radar és a félig aktív irányított rakéták voltak, amelyek első alkalommal tették lehetővé a levegő-levegő műveleteket. Ezenkívül ezzel a géptípussal meg lehetett már közelíteni a közeledő célpontokat is, míg a korábbi repülőgépek csak a hátsó szektoros támadásokra korlátozódtak. A Saab Draken vadászpilótárepülőgép megérkezésével, a légi védelemmel érintett terület kibővült. A légierő fejlesztéséhez ebben az évtizedben átszervezések is társultak. A Saab Draken hadrendbe



állítását követően a Häme repülőezredet Rovaniemibe helyezték át. A Satakunta légi parancsnokságot Pirkkalából Poriba helyezték át. Az 1978-ban a légierő a MiG-21BISz elfogó vadászgépek megvásárlásával a légierő tovább erősítette harci képességeit [10].

A repülőgép vásárlásokon kívül a légvédelmi képességek is javultak. Finnország alacsony magasságú felületei radarokat fejlesztett ki, és beszerezte az első föld- levegő rakétákat is.

Az 1970-es években a légierő megkezdte a továbbfejlesztett oktató és kiképző gépek felszerelését az új vadászrepülőgépek igényeinek megfelelően. Továbbá az állami repülőgépgyár megkezdte a Valmet Vinka kiképző repülőgép megépítését. A pilóta képzésben az Egyesült Királyságból származó Hawk-ot választották.



7. ábra Valmet Vinka [32]

A Valmet Vinka L.-70 egy alacsony monoplán, fémszerkezetű repülőgép. A géptípus tervezői munkája már 1970-ben elkezdődött. A géptípussal jelenleg is végeznek kiképzéseket és oktatásokat. A mind katonai, mind polgári célokra felhasználható. A katonai repülésben kiképző gépként, a polgári alkalmazása egyrészt oktatógépként, egyrészt mezőgazdasági munkákhoz nehéz terepviszonyok között alkalmazható [33].

Az 1970-es évtizedet a légierő sikeres fejlődési korszakaként értékelhetjük. A beköszöntő 1980-as évtizedet pedig a harci képességek erősödésével jellemezhetnénk leginkább. Ennek oka az volt, hogy a Fouga Magister kiképzőgépet kivonták a hadrendből és helyére az angol gyártmányú Hawk típusú oktatógép került. A típus jó lehetőséget nyújt a kiképzéshez és a harci taktika begyakorlatásához. Az oktatógépeket most is használja a Légierő Akadémia 41 számú kiképző ezrede a Tikkakoski légibázison. A legutóbbi gyakorlatot 2018 márciusában hajtották végre, ahol a fiatal pilóták az F-18D Hornet vadászrepülőgéppel vívtak légcsatát. A kiképzés célja az volt, hogy a fiatal pilóták megismerjék a saját repülőgépük manőverezési képességét [23].

Finnország az 1980-as évek elején frissítette a légi taxi, szállító repülő és célvontató flottáit is. Három új típus került megvásárlásra, melyek mindegyike sikeres beszerzésnek bizonyult.

Az 1980-as évek 3 új típusa: a Fokker F27, a Learjet 35 A/S és végül, de nem utolsó sorban a Piper Chieftain.



8. ábra A Fokker F27 repülőgép [34]

Az 1980-as évek végén a légvédelmi rendszerek korszerűsítésén volt a fejlesztés hangsúlya. Ezzel együtt a különböző ellenőrzési rendszereket is korszerűsítettek, ezenkívül a számos olyan programot vezettek be, amely körülbelül az ezredfordulóig garantálta a harci képesség fenntartását. Az évtized végén bekövetkező politikai és gazdasági változások ismét új lehetőségeket és kihívásokat teremtettek.

### **A hidegháború végétől napjainkig**

A hidegháború befejeződésével új korszak köszöntött be az északi régióban is. A Szovjetunió megszűnése, a balti államok függetlenné válása és kapcsolódásuk történelmi régiójukhoz, valamint a Közép- és Kelet-Európában lezajlott változások nem hagyták érintetlenül az északi államokat sem. A geopolitikai helyzet, mely a hidegháború korszaka alatt nem változtatott Finnország nemzetközi helyzetén, most radikális változáson ment keresztül. E változások hatására Finnország, amely a hidegháború alatt sikeresen képviselte semlegességi politikáját, az eddig konzekvensen képviselt biztonság- és védelempolitikai prioritásait felülvizsgálta.

Az új geopolitikai helyzet alapjait a szignifikáns politikai, gazdasági és társadalmi változások jelentették. A legfontosabb politikai változás 1989 októberében következett be: Gorbacsov hivatalosan is bejelentette a hidegháború végét és elismerte Finnország semlegességét [3]. A szovjet főtitkár bejelentése az Európai Biztonsági és Együttműködési Értekezleten új lehetőséget teremtett az 1980-as évek külpolitikájának felülvizsgálatára. Pentillä jegyzi meg egyik tanulmányában [19], hogy a baloldali csoportok az ország teljes kilépését sürgették a korábban megkötött Barátsági, Együttműködési és Kölcsönös Segítségnyújtási Egyezményből. Mauno Koivisto elnöksége alatt Finnország ugyan nem lépett ki az egyezményből, azonban 1990 szeptemberében megállapította, hogy a párizsi békeszerződésben a haderőt korlátozó rendelkezések érvényüket veszítették. Mindezek után Finnország hatályon kívül helyezte a BEKS Egyezmény Németországra vonatkozó részét és az előírt katonai konzultációkra vonatkozó szakaszokat. Az elnök mindezt először hivatalos TV-beszédében jelentette be. Finnország semlegességének elismerése és az ezzel együtt megváltozott politikai körülmények számos, a kül- és biztonságpolitikát érintő kérdés megvitatását tették lehetővé.

Miután a hidegháború hivatalosan is véget ért, Finnország semleges államként Nyugat és Kelet határán találta magát a nagyhatalmi szembenállás okozta feszültségek nélkül. A radikális európai változások és az ország új külpolitikai stratégiája lehetőséget teremtett az európai országokkal és az Amerikai Egyesült Államokkal egy új, szorosabb kapcsolat kialakítására. A politikai döntéshozókat azonban egy komoly dilemma foglalkoztatta: összeegyeztethető-e az ország semlegességi politikája és a nyugati integráció. Mivel az ország gazdasági kapcsolatai egyre erősödtek az Európai Unió országaival, Finnország egyre közelebb került Európa nyugati régiójához, amit Moszkva politikai nyomásgyakorlással próbált megakadályozni. Másrészt az Európai Unió országai között fennálló kapcsolatok nem voltak összeegyeztethetők a finn semlegességi politikával és az önálló külpolitikai döntéshozatal lehetőségével. Az ország számára ebben az időszakban a semlegességi politika részbeni feladása és a nyugat-európai integrációban való részvétel egy nagyhatalmi konfliktusban való részvétellel ért fel [9]. Finnország éppen ezért csak óvatosan közeledett a nyugati államokhoz és néhány éven keresztül csak lassan építette kapcsolatait. Kisállamként Finnország tisztában volt azzal, hogy amennyiben nem kapcsolódik be a nemzetközi szervezetek munkájába, végérvényesen marginalizálódik. A nyugati integráció felé tett első lépéseiben és a kialakított nemzetközi kapcsolataiban deklarálta semlegességi politikáját. Ebben az időszakban az ország mind a nyugati, mind a közép- és kelet-európai államokkal egyszerre építette gazdasági kapcsolatait. Mindemellett az ország az északi régió országaival is újrateremtette kapcsolatrendszerét. Bár az Északi Tanácsnak tagja volt már, szükségesnek tartotta kijelenteni, hogy kül- és biztonságpolitikai kérdésekben nem foglal állást. Ennek hatására, és deklaráltan fenntartott semlegességi politikája miatt kapcsolatai a régió országaival nem voltak teljesen problémamentesek, mivel a régió több országa is széleskörű megállapodásokkal rendelkezett az Európai Közösség országaival. Ebben a megváltozott külpolitikai helyzetben úgy került egyre közelebb az európai gazdasági közösséghez, hogy az EFTA már deklarálta, hogy tagjainak legfontosabb gazdasági partnerei az Európai Közösség országai.[4]. Ebben a helyzetben Finnország számára az európai integrációs folyamatot meggyorsította a folyamatosan változó külpolitikai helyzet: a sikertelen puccs Moszkvában, a Szovjetunió összeomlása 1991-ben, majd a helyébe lépő Oroszországi Föderációval megkötött új államközi megállapodás, az 1960-ban a Szovjetunióval megkötött vámtarifa-megállapodás megszűnése, illetve Svédország jelentkezése az EK-tagságra. 1992 márciusában a finn parlament megszavazta a csatlakozási kérelmet az Európai Közösséghez. A csatlakozási kérelem benyújtása azonban nem változtatott az ország elfogadott külpolitikai céljain, mert ezek egybeestek az Európai Közösség által elfogadott célokkal.

A csatlakozási kérelem benyújtásával egyidőben kezdődött meg a vita az EK-tagság hatásáról a kül- és biztonságpolitikára. A vita alapját a megváltozott geopolitikai helyzet, valamint a hagyományos finn semlegesség és az „önálló katonai védelem” felfogás képezte.

Ahogy a fenti rövid vázlatból is látszik az 1990-es évek teljesen új helyzetet teremtettek a régióban és Európában. A változások rákényszerítették a politikai döntéshozókat, hogy ártérkeljék a haderőről, illetve annak fejlesztéséről szóló terveket. Finnország számára a BEKS szerződés egyes pontjainak hatályon kívül helyezése is új lehetőségeket teremtett. Hozzá kell tenni, hogy a légierő előregedő vadászrepülőgépeinek cseréje is időszerűvé vált. A légierő ugyan az 1980-as évek legvégén már elkezdte kiválasztani azokat a repülőgéptípusokat, amelyekkel az elképzelések szerint meg fogja újítani a repülőgépi állományát. Ezek a típusok voltak: a francia gyártmányú Mirage 2000-5, a svéd JAS39 Gripen, az amerikai F-16 C/D Falcon és F-18 D Hornet,



valamint a szovjet/országi MiG-29-es. Az elsődleges értékelés után az első négy géptípust választották ki. A finn kormány 1992-ben írta ki a nyilvános közbeszerzési pályázatot a vadászrepülőgépek beszerzésére. A légierő pedig a F-18 D Hornet-et választotta az előregedő vadászgéppáállomány lecserélésére. Természetesen ez nem jelentette azt, hogy a légierő az új géptípus megérkezése után azonnal kivonta az előregedő géptípusokat a hadrendből, hanem még az élettartamuk végéig megtartotta ezeket is. Az Amerikai Egyesült Államokkal megkötött szerződés széleskörű garanciákat tartalmazott, illetve a kiképzés, valamint a karbantartásra is vonatkozott. A szerződés alapján a Finn Légierő 57 db együléses és 7 db 2 üléses vadászrepülőgépet vásárolt. 1994-ben kezdődött meg a géptípus bevezetése, amikor a pilótákat és a légijármű-karbantartó személyzetet kiképzésre az Amerikai Egyesült Államokba küldték.

A megvásárolt vadászgéptípus bevezetése új korszakot nyitott a Légierő fejlődésében. Ez a modern vadászrepülőgép új alapot teremtett a fejlesztésekhez. Az első vadászrepülőgépek a 6 db kétüléses F-18D Hornet 1995 novemberében érkezett meg az Egyesült Államokból. A korábbi vadászgépek típusok (Draken és a MiG-21) után az F-18D Hornet jelentős előrelépést jelentett.



9. ábra F-18D Hornet [5]

Az új vadászrepülőgépek legfontosabb jellemzői közé tartozik az impulzus vezérelt doppler radar és a hatékony radar-vezérelt AMRAAM rakéták. A vadászgéptípus jelentősen javította a légierő helyzetfelmérését és növelte a légvédelmi képességet. A légierő fejlődése során az egyes korszakokban a hidegháború idején folyamatos problémát jelentett a légtér védelmi és rendészeti feladatok ellátása.

Az F-18D Hornet digitális rendszerei szintén jelentősen megkönnyítették a pilóták munkaterhelését. A repülőgépet úgy tervezték, hogy támogatja a frissítések széles skáláját. A vadászgéptípus jól integrálható az 1990-es évek elején bevezetett légvédelmi rendszerbe.

A „hornet korszak” megnyitotta a lehetőséget a légierő előtt a nemzetközi gyakorlatokon való részvételhez. A NATO Béképartnerségi programja mellett, részt vesz a NORDEFECO gyakorlatain is. A korszerű vadászrepülőgépek hozzásegítették a légierőt, hogy a nemzetközi gyakorlatokon gyakorolja és sajátítsa el a legkorszerűbb eljárásokat és harci technikákat.

A fejlődés természetesen nem állt meg. Az európai uniós csatlakozás után kiadott harmadik biztonság- és védelempolitika jelentés (2004) katonai fejlesztésekről szóló részében a kormányprogram kötelezte a légierőt egy expedíciós egység létrehozására, amelynek feladata részvétel [16].

A „hornet korszakban” a szállító repülőgépek korszerűsítéseként a beszerezte a CASA C-295M típusú repülőgépet, amellyel lecserélte a Fokker F27-eseket. A közepes szállítórepülőgépet az Airbus Defence and Space gyártja Spanyolországban. meghajtásáról két légcsavaros gázturbina gondoskodik, hattollú légsavarral.



10. ábra CASA C-295M szállítórepülőgép [1]

2010-ben a légierő további repülőgép beszerzéseket hajtott végre. A Fokker F27-es típus cseréjéhez bevezette a Pilatus PC-12NG típusú repülőgépet, amellyel a Piper Chieftain és a Valmet Redigo flottákat helyettesíti. Továbbá, 2011-ben újabb Hawk MK66-oskat vásárolt a svájci légierőtől.

Természetesen a légierő fejlesztése nem állt meg, az elmúlt években kiadott biztonság- és védelempolitikai jelentések újabb célkitűzéseket fogalmaztak meg a légierő számára. Ezekről a fejlesztésekről és átszervezésekről a következő részben fogok írni, támogatva a nemzetközi tapasztalatok felhasználásának szükségességét a magyar hadtudományban [35].

Ebben a tanulmányban felvázoltam a világ legidősebb önálló légierőjének fejlődését a hidegháború kezdetétől a 2000-es évek közepéig. A történeti áttekintés csak érintőlegesen foglalkozik a helikopterekkel, hiszen az „égi huszárok” megjelenése a légierőben és feladatszabásuk szintén lehet egy önálló tanulmány témája.

Természetesen a tanulmányban kiemelt géptípusok azok voltak, amelyek a legnagyobb hatást gyakorolták a légierő fejlődésére. Azt gondolom, hogy minden fejlesztési elképzelés annyit ér, amennyi megvalósul belőle. A Finn Légierő esetében a fejlődés folyamatos volt a gyenge gazdasági és a folyamatosan politikai körülmények között.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] CASA-295M: [https://ilmavoimat.fi/en/history#The%20Hornet%20era%20\(from%201995%20onwards\)](https://ilmavoimat.fi/en/history#The%20Hornet%20era%20(from%201995%20onwards))
- [2] De Havilland D.H.100 <https://hu.pinterest.com/pin/544724517421621667/>
- [3] Eino Jutikkala-Kauno Pirinen: Finnország történelme Kairosz Kiadó, Budapest, 2004. pp. 358, 367
- [4] Esko Antola: EFTA and European Integration in: EFTA-Special Relationship EFTA Bulletin 2000. szeptember, <http://www.efta.int/~media/Files/Publications/Bulletins/EFTABulletinSeptember2000.pdf>
- [5] F-18D Hornet: [https://honvedelem.hu/cikk/50512\\_balti\\_gyakorlat\\_finn\\_reszvetel](https://honvedelem.hu/cikk/50512_balti_gyakorlat_finn_reszvetel)
- [6] Folland Gnat Mk.1 <https://www.ilmailumuseot.fi/tuotteet.html?id=20172/254360>
- [7] Folland Gnat F-1: <https://www.flying-tigers.co.uk/wp-content/uploads/2016/07/gn5-Folland-Gnat-Finnish-Air-Force.jpg>
- [8] Halmosy Dezső: Nemzetközi Szerződések 1945-1982, Gondolat Budapest, 1985. 148-150. oldal
- [9] Hanna Ojanen: Finnish non-alignment: drills in flexibility in: Hanna Ojanen - Gunilla Herolf - Rutger Lindahl: Non-alignment and European Security Policy, Programme on the Northern Dimension of the CFSP, Vol.6, The Finnish Institute of International Affairs, Kauhava 2000. 89. oldal
- [10] Ilmavoimen historia: [https://ilmavoimat.fi/ilmavoimien-historia#Jokasään\\_torjuntakyky\\_saavutetaan\\_\(1970-luku\)](https://ilmavoimat.fi/ilmavoimien-historia#Jokasään_torjuntakyky_saavutetaan_(1970-luku))
- [11] Lipponen, Rauno: Artola toimi ilmavoimien komentajana 1.12.1952–8.12.1958 in: Itsenäisen Suomen kenraalikuunta, WSOY, Porvoo, 1997, p. 38
- [12] Lukkarinen, Vilho: Tuhkasta taivaalle – Ilmavoimat 1944–1960, Suomen Ilmavoimat 1944– 1980, Ilmavoimien Kiltaliitto ry, Jyväskylä, 2008
- [13] Dr. Márton Andrea: A finn légierő története I. rész Repüléstudományi Szemelvények, 2017 67-92 oldal <http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2017.pdf>
- [14] Messerschmitt Bf 109G-6: [http://hsfeatures.com/features04/bf109g6jk\\_1.htm](http://hsfeatures.com/features04/bf109g6jk_1.htm)
- [15] MiG-21F: <http://www.wings.hu/muzeumok/finnorszag/tikkakoski>
- [16] MOD (2004): Finnish Security and Defence Policy 2004 – Summary. Helsinki, Ministry of Defence. [www.defmin.fi/en/publications/finnish\\_security\\_and\\_defence\\_policy/2004](http://www.defmin.fi/en/publications/finnish_security_and_defence_policy/2004) A letöltés ideje: 2017. 10. 22.
- [17] Pekka Visuri: Evolution of Finnish Military doctrine 1945-1985, War College, Helsinki, 1990 pp. 21-22, 39-42 43-48,
- [18] Polmar, Norman and Kennedy, Floyd: Military helicopters of the world, Arms and Armour Press, USA, 1981, pp. 2-3, 8
- [19] Risto E. J. Penttillä: Finland's security in a changing Europe – a historical perspective Finnish Defence Studies 7, National Defence College, Helsinki 1994. 21. oldal
- [20] Saab Draken: <https://www.pinterest.com.au/pin/364017582353187452/visual-search/?x=62&y=10&w=468&h=361>
- [21] Urho Kekkonen: A finn külpolitika útja: válogatott beszédek és cikkek, fordította: Dalos György, Kossuth Kiadó, Budapest, 1975. 65. oldal
- [22] Dr. Ujj András: A semlegesség tartalom- és formaváltozásai Védelmi Tanulmányok, No. 14 SVKI Budapest, 1997. p. 23
- [23] Young Finnish hawk pilots practice to fight against hornets <https://www.blogbeforeflight.net/2018/03/finnish-student-pilots-practice-to-fight-against-hornet.html>
- [24] Valmet Vinka: <http://aviadejavu.ru/Site/Crafts/Craft32280.htm>
- [25] Urho Kekkonen: A finn külpolitika útja: válogatott beszédek és cikkek, fordította: Dalos György, Kossuth Kiadó, Budapest, 1975. p. 65
- [26] Bain, Gordon: De Havilland: A Pictorial Tribute.1992, London AirLife
- [27] Folland Gnat F-1: <https://www.flying-tigers.co.uk/wp-content/uploads/2016/07/gn5-Folland-Gnat-Finnish-Air-Force.jpg>
- [28] Saab 91 D Safir: [http://www.savonlinnanlentokerho.fi/CMS/index.php?option=com\\_ponygallery&Itemid=14&func=detail&id=755](http://www.savonlinnanlentokerho.fi/CMS/index.php?option=com_ponygallery&Itemid=14&func=detail&id=755)
- [29] Saab 91D Safir: <https://www.ilmailumuseot.fi/tuotteet.html?id=20825/252043>
- [30] Suomen Ilmailumuseo: [http://www.wikiwand.com/fi/Suomen\\_ilmailumuseo](http://www.wikiwand.com/fi/Suomen_ilmailumuseo)
- [31] Saab Draken: <http://ilmailumuseo.fi/en/draken-2/>
- [32] Valmet Vinka: <http://aviadejavu.ru/Site/Crafts/Craft32280.htm>
- [33] Valmet L-70 Vinka Military Trainer Aircraft <https://www.airforce-technology.com/projects/valmet-l70-vinka-military-trainer-aircraft/>
- [34] Fokker F27: [http://www.flugzeuginfo.net/images/airshow/2001riat/f27\\_finnaf\\_ff-3\\_riat01.jpg](http://www.flugzeuginfo.net/images/airshow/2001riat/f27_finnaf_ff-3_riat01.jpg)
- [35] Boda et.al.: Fókusz és együttműködés. A hadtudomány kutatási feladatai. Honvédségi Szemle 2016/3. szám p. 4.

---

### *HISTORY OF THE FINNISH AIR FORCE PART II.*

---

*In my study, I continue to present the story of the Finnish Air Force. I closed the first part with the concluding of the 1947 peace treaty, in this part II. I will present the history of post-war years and changes during the Cold War period. During the Cold War period, the shortage of a small nation remained with its great power in its surroundings. As we have always been talking about the development and development of the military, the geo-political and geostrategic situation of the given era can not be overcome and the country's response to these challenges.*

**Keywords:** *Finland, History of Air Force, cold war, nowadays*

---

Márton Andrea PhD  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
andrimarton@gmail.com  
martonandrea@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-4216-4797

Márton Andrea PhD  
National University of Public Service  
andrimarton@gmail.com  
martonandrea@uni-nke.hu  
orcid.org/0000-0002-4216-4797

---



