



# REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar tudományos kiadványa



31. évfolyam 3. szám • 2019

## Repüléstudományi Közlemények

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar tudományos kiadványa

Online kiadás

HU ISSN 1789-770X

Nyomtatott kiadás

HU ISSN 1417-0604

### A szerkesztőbizottság elnöke

Prof. Dr. Óvári Gyula (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

### A szerkesztőbizottság tagjai

Dr. Dunai Pál (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Dr. Bottyán Zsolt (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Dr. Kavás László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Prof. Dr. Makkay Imre (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Prof. Dr. Pokorádi László (Óbudai Egyetem)

Dr.h.c. doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD., MBA, LL.M. (Kassai Műszaki Egyetem, Szlovákia)

Dr. Palik Mátyás (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Prof. Dr. Szabolcsi Róbert (Óbudai Egyetem)

Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

### Főszerkesztő

Dr. Békési Bertold (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

### Szerkesztőség

Dr. Békési Bertold (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Dr. Kavás László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Szerkesztőség címe: 5008 Szolnok, Kilián út 1.

Levelezési címe: 5008 Szolnok, Pf. 1.

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

### Kiadó

Ludovika Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft.

1089 Budapest, Orczy út 1.

[kiado@uni-nke.hu](mailto:kiado@uni-nke.hu) • +36 1 432 9000

A kiadásért felel: Koltányi Gergely ügyvezető igazgató



## Tartalom

Wühl Tibor: Drónkommunikáció: I–Q-moduláció hatékony megvalósítása DSP-vel . . . . .	5
Domán László, Pokorádi László, Szilvássy László: Repülőeszközök idegen-barát felismerésének kockázatát befolyásoló tényezők ok-okozati elemzése . . . . .	15
István Balajti: Overview of the International Radar Symposium Best Papers, 2019, Ulm, Germany . . . . .	31
Tamás Bali: Questions on the Hungarian Helicopter Force Transformation . . . . .	65
Réz Levente: A helikopterképesség fejlesztésének aktuális kérdései . . . . .	77
Szalkai István: Pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának történelmi pillanatai és ezekből levonható következtetések . . . . .	89
Nagy László János: A harci helikopterek túlélőképesség-növelésének lehetőségei . . . . .	99
Annamária Koncz, László Pokorádi, Zsolt Csaba Johanyák: Risk Analysis in the Automotive Industry . . . . .	119
Salavec Péter, Simon André, Szintai Balázs: Turbulencia- és hegyihullámképződés-diagnosztikák a repülési előrejelzésben az Országos Meteorológiai Szolgálatnál . . . . .	125
Vránics Dávid Ferenc, Palik Mátyás: Mission as a Service – Egy felhőalapú UAS megvalósítása . . . . .	153
Csengeri János: A drónforgalom és a drónfenyegetések rendszerszintű kezelésének lehetőségei . . . . .	169
Venczel Márk, Peredy Zoltán, Rohács Dániel, Rohács József: Intelligens biztonsági megoldások a nemzetközi repülőterek jövőbeli terrorfenyegetettségének hatékony csökkentése érdekében . . . . .	187

VÁKÁT OLDAL

Wühl Tibor

## Drónkommunikáció: I–Q-moduláció hatékony megvalósítása DSP-vel

*Drónokat számos területen használunk. Csaknem minden felhasználási terület igényli, hogy a drónok információkat fogadjanak vagy továbbítsanak akár egy másik drónnak, vagy a földi szegmensnek. Az analóg átviteli csatornán a digitális jelekkel leírt információt digitális modulációs eljárásokkal tudjuk továbbítani.*

*Ebben a cikkben egy hatékony, többszintű digitális modulátor megvalósíthatóságát mutatom be, amely kis teljesítményű, fix pontos számábrázolást használó jelfeldolgozó processzorral megvalósítható. A bemutatott DSP-algoritmus analóg I–Q-jelet állít elő, amely analóg AM-DSB/SC-eljárással kisugározható rádiófrekvenciás jellé konvertálható.*

**Kulcsszavak:** drón, kommunikáció, I–Q-modulátor, DSP

### Bevezetés

A jó minőséget biztosító digitális kommunikációs csatorna meghatározója egy drónrendszer jóságának, sikeres használhatóságának. Napjainkban a drónokra különféle küldetéseket bízunk, és a jövőben egyre többfelét bízni fogunk. A drónok katonai, katasztrófavédelmi, üzleti felhasználhatósága már nem képezi vita tárgyát, és a közeljövőben a hétköznapi életünk részévé is válik a felhasználásuk [1], [2], [4]. Sokan hobbicéllal alkalmazzák ezen eszközöket.

Bármely felhasználást vizsgáljuk is, azt állapíthatjuk meg, hogy a küldetésre indított drónok valós időben vagy kvázi valós időben információt juttatnak a földi szegmens felé (például fedélzeti információk vagy fedélzeten elhelyezett kamera, kamerarendszer által készített vizuális információk [1]). Kötelékben repülő pilóta nélküli eszközök (például drónrajok) esetén a drónok folyamatosan megosztják a kötelék tagjaival a helyzetüket, esetleg ütközés elkerülése érdekében más repülőeszközöknek szolgáltatnak információt [3].

Ebben a cikkben egy digitális moduláció gyakorlati kialakítási módszereit mutatom be. Fontos törekvés, hogy a megvalósítás kis teljesítményű jelfeldolgozó processzorral vagy úgynevezett Signal Controllerrel (DSC) kivitelezhető legyen, mivel egy kisméretű drón fedélzetére helyezhető tömeg jelentősen limitált. Fontos szempont továbbá a jó minőségű digitális csatorna (például jó bithibaarány) kialakításon túl az, hogy az egyes felhasználási igényektől függően az átviteli mód viszonylag rugalmasan átprogramozható legyen.

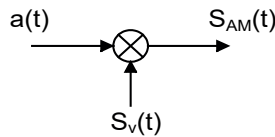
Digitális átviteli csatorna kialakítása úgynevezett digitális modulációs eljárással történhet. Ez esetben a vivő jelet egy analóg, harmonikus jel jelenti, amelynek feszültség időfüggvénye:

$$u_{\text{vivő}}(t) = \hat{U} \cdot \cos(\omega_v t + \varphi)$$

A moduláció során a vivő jel valamely fizikai paraméterét változtatjuk meg, és ez a változás fogja hordozni az információt, vagyis a digitális jelfolyamot. Az amplitúdó megváltoztatása esetén ASK-, a frekvencia megváltoztatása esetén FSK-, míg a fázishelyzet megváltoztatása esetén PSK-eljárásról beszélünk. Abban az esetben, ha a vivő amplitúdó és fázishelyzet együttesen hordoznak információt, akkor digitális QAM-ről beszélünk.

## Elméleti alapok, I–Q-sík leképzése

Az elméleti alapok az analóg AM-DSB/SC-modulációig nyúlnak vissza. Szorzómodulációval végzett spektrumáthelyezés eredménye egy elnyomott vivőjű, dupla oldalsávú spektrumképet mutató amplitúdómodulált jel.



1. ábra

Szorzómodulátor elvi kialakítása [saját szerkesztés]

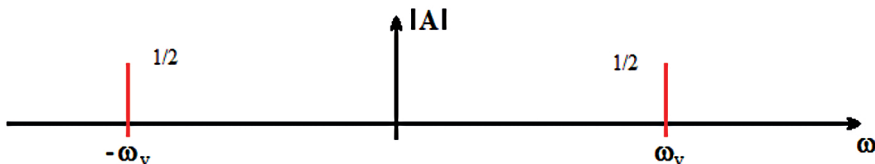
A fenti ábrán kialakított modulátor működését a következő összefüggés írja le:

$$S_{\text{AM}}(t) = a(t) \cdot \cos(\omega_v t)$$

Az összefüggésben  $a(t)$  a moduláló jel, valamint a vivőjel egységnyi amplitúdójú,  $0^\circ$  kezdőfázisú koszinuszos jel. A komplex forgó vektoros modellel [10] leírt vivőjel:

$$S_v(t) = \cos(\omega_v t) = \frac{1}{2} \cdot e^{j\omega_v t} + \frac{1}{2} \cdot e^{-j\omega_v t}$$

A vivőjel spektrumképe abszolút értéke a modell szerint:



2. ábra

Modulálatlan vivő spektrumképe [saját szerkesztés]

Az AM-DSB/SC-jel az időtartományban vizsgálva pedig:

$$S_{AM}(t) = a(t) \cdot \cos(\omega_v t) = a(t) \cdot \frac{1}{2} \cdot e^{j\omega_v t} + a(t) \cdot \frac{1}{2} \cdot e^{-j\omega_v t}$$

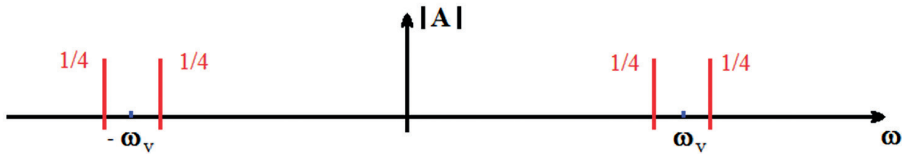
A spektrumkép vizsgálatához gondolatban alkalmazzunk egy harmonikus mérőjelet moduláló-jelként. Az  $a(t)$  modulálójel legyen egy egységnyi amplitúdójú  $\omega_m$  körfrekvenciájú vizsgálójel:

$$a(t) = \cos(\omega_m t) = \frac{1}{2} \cdot e^{j\omega_m t} + \frac{1}{2} \cdot e^{-j\omega_m t}$$

A vizsgálójellel, ha elvégezzük a modulációt, akkor az eredményt az időtartományban a következő összefüggéssel írhatjuk le:

$$\begin{aligned} S_{AM}(t) &= a(t) \cdot S_V(t) = \left(\frac{1}{2} \cdot e^{j\omega_m t} + \frac{1}{2} \cdot e^{-j\omega_m t}\right) \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot e^{j\omega_v t} + \frac{1}{2} \cdot e^{-j\omega_v t}\right) = \\ &= \frac{1}{4} \cdot e^{j(\omega_v + \omega_m)t} + \frac{1}{4} \cdot e^{j(\omega_v - \omega_m)t} + \frac{1}{4} \cdot e^{j(-\omega_v + \omega_m)t} + \frac{1}{4} \cdot e^{j(-\omega_v - \omega_m)t} \end{aligned}$$

Most négy összetevőt kapunk eredményként, amely spektrumkép abszolút értéke a következő ábrán figyelhető meg:

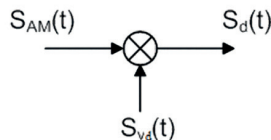


3. ábra

Harmonikus vizsgálójellel végzett modulációs termék spektrumképe [saját szerkesztés]

A spektrumképből eltűnik a modulálatlan vivő komponense, amelynek csak a helyét jelöltem a fenti ábrán, viszont a vivő környezetében  $\frac{1}{4}$  amplitúdóval előáll a két oldalsáv, vagyis az eredmény egy AM-DSB/SC-jel lesz.

Az előzőekben előállított AM-DSB/SC-jelről a modulálójelet burkoló detektoros demodulátorral  $[x]$  vagy szorzódemodulálással választhatjuk le. Vizsgáljuk meg ez utóbbit úgy, hogy az AM-DSB/SC-jelet megszorozzuk a modulálásnál használt frekvenciájú, egységnyi amplitúdójú, de  $\phi$  fázisszög eltérésű jellel.



4. ábra

Szorzódemodulátor elvi kialakítása [saját szerkesztés]

A demodulálást az időtartományban általánosan a következő összefüggésekkel írhatjuk le:

$$S_d(t) = S_{AM}(t) \cdot \cos(\omega_v t + \varphi) = a(t) \cos(\omega_v t) \cdot \cos(\omega_v t + \varphi) = \\ = \frac{a(t)}{2} \cdot \cos \varphi + \frac{a(t)}{2} \cdot \cos(2\omega_v t + \varphi)$$

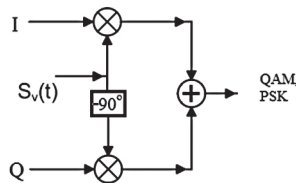
A fenti összefüggésben  $a(t)$  a moduláló jel, a „ $\varphi$ ” a modulált és a demoduláló vivő jel fáziskülönbsége.

Ugyanezt leírhatjuk forgó vektoros modellel is, amely esetben az előálló spektrális komponensek jól láthatóak:

$$S_d(t) = S_{AM}(t) \cdot S_V(t) = \\ = \left( \frac{1}{4} \cdot e^{j(\omega_v + \omega_m)t} + \frac{1}{4} \cdot e^{j(\omega_v - \omega_m)t} + \frac{1}{4} \cdot e^{j(-\omega_v + \omega_m)t} + \frac{1}{4} \cdot e^{j(-\omega_v - \omega_m)t} \right) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot e^{j\omega_v t} + \frac{1}{2} \cdot e^{-j\omega_v t} \right) = \\ = \frac{1}{8} \cdot e^{j(2\omega_v + \omega_m)t} + \frac{1}{8} \cdot e^{j(2\omega_v - \omega_m)t} + \frac{1}{8} \cdot e^{j\omega_m t} + \frac{1}{8} \cdot e^{-j\omega_m t} + \\ + \frac{1}{8} \cdot e^{j(-2\omega_v + \omega_m)t} + \frac{1}{8} \cdot e^{j(-2\omega_v - \omega_m)t} + \frac{1}{8} \cdot e^{j\omega_m t} + \frac{1}{8} \cdot e^{-j\omega_m t}$$

A harmonikus jelekkel leírt tartalom az  $\frac{a(t)}{2} \cdot \cos(2\omega_v t + \varphi)$  komponens a kétszeres vivő frekvencián előálló modulációs tartalmat jelenti, amely komponens számunkra nem túl

hasznos, ezért ezt aluláteresztő szűrővel eltávolítjuk. A megmaradó tartalom az  $\frac{a(t)}{2} \cdot \cos \varphi$  a demodulált jelet jelenti, amely  $\varphi = 0^\circ$  esetén  $\frac{1}{2}$  amplitúdójú az eredeti modulálójel amplitúdójához képest. Abban az esetben, ha a  $\varphi = 90^\circ$ , akkor a demodulált tartalom amplitúdója nulla értékű, vagyis nem jelenik meg a kimeneten. Ez alapján ha a modulációnál  $90^\circ$  fáziseltérésű vivőket használunk, akkor ezek ugyanazon a frekvencián is ortogonálisnak, függetlennek tekinthetők, vagyis összegezhetők és majd a vételi oldalon a megfelelő vivő fázishelyzettel demodulálhatók.



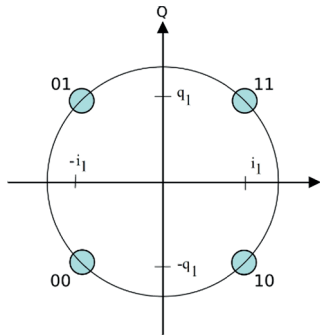
5. ábra  
I-Q-modulátor-kialakítás szorzómodulátorral [saját szerkesztés]

Az I-Q-modulátor kimenetén digitális QAM- vagy PSK-jelet kapunk az I és Q-jelek kialakításától függően.

## I–Q-jelek

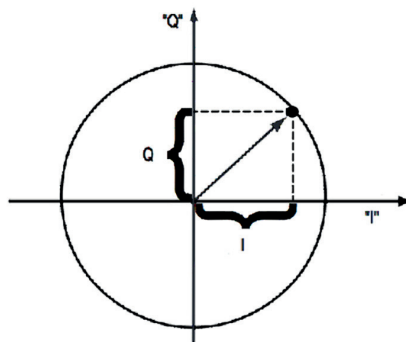
Az „I” (In-Phase) és a „Q” (Quadrature-Phase) jelek egymástól független vivőkön – például egy szinuszos és koszinuszos harmonikus jel, amiben mindkét tag azonos frekvenciájú – továbbíthatók a rendeltetési helyükre.

A következő ábra egy négyállapotú PSK (PSK-4) szimbólumait szemlélteti a komplex (I–Q) síkon:



6. ábra  
PSK-4 konstellációs ábra [saját szerkesztés]

Az egyes szimbólumok komplex számokkal adhatók meg a síkon, például az '11'-nek kódolt szimbólum helyét az  $i_1 + j \cdot q_1$  adja, de nem fontos tudnunk, hogy a vivő jellel kisugárzott jel, vagyis szimbólum egy valós jel. Ennek a kisugárzott jelnek az amplitúdóját gondolatban a szimbólumhoz az origóból húzott vektor hossza, míg fázishelyzetét ugyanezen vektor állásszöge adja. Nulla fokos állásszögnek az „I” tengely pozitív irányába mutató, az „I” tengelyre fekvő vektort tekintjük.



7. ábra  
Egy szimbólum I–Q-komponenseinek értelmezése [saját szerkesztés]

A komplex síkon ábrázolt szimbólum két komponenssel adható meg, egy „I” és egy „Q” komponenssel, amelyek szintén valós értékek, például valós feszültség szintek.

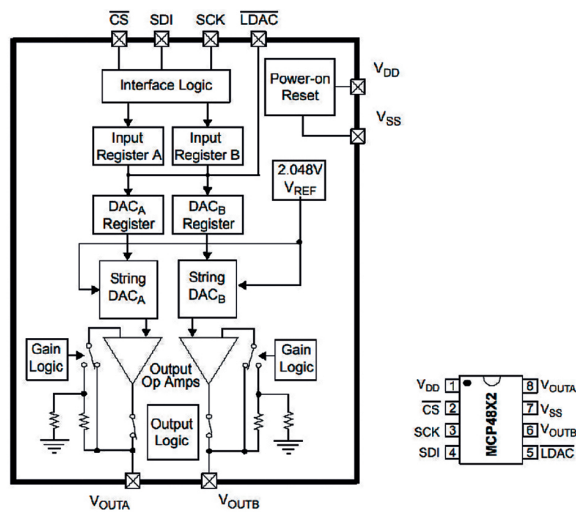
Ugyanakkor ne feledkezzünk meg az eredeti célról, miszerint a drónunk digitális jelfolyamot kíván továbbítani. Ha visszatekintünk a 6. ábrára, ott azt látjuk, hogy az egyes szimbólumok 2 bites számmal kódoltak, vagyis egy szimbólum két bit információt szállít. E példa szerint a szimbólum-előállítás a továbbítandó digitális jelfolyam két bitre tagolt egységei alapján történik.

Magasabb számú szimbólum esetén egy szimbólum több bit információt szállíthat, például PSK-8 esetén 3 bit/szimbólum, QAM-16 esetén 4 bit/szimbólum, QAM-256 esetén 8 bit/szimbólum stb.

## I–Q-jelek előállítása

Első lépésben vizsgáljuk meg az I–Q-jel előállításának hardverfeltételeit, miszerint egy szimbólum egy „I” és egy „Q” jelszinttel leírható. Mindkét komponens valós fizikai jellemző, például feszültségérték lesz.

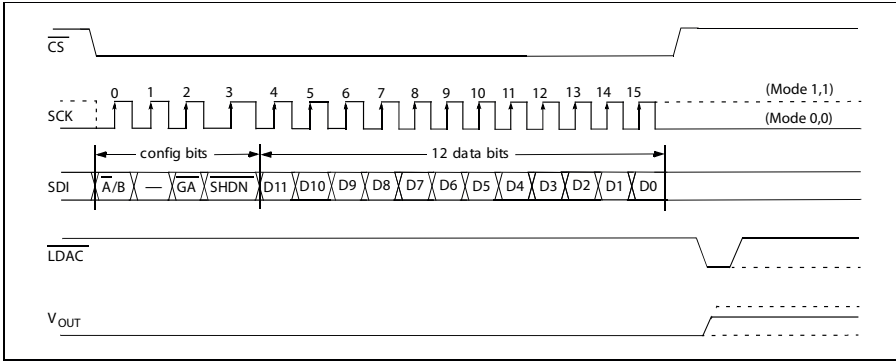
Ezeket a feszültség szint-értékeket a digitális jelfeldolgozó processzorhoz illesztett két-csatornás D/A-konverterrel állíthatjuk elő:



8. ábra

I–Q-komponens gyakorlati előállításához használható kétcsatornás D/A-konverter [5]

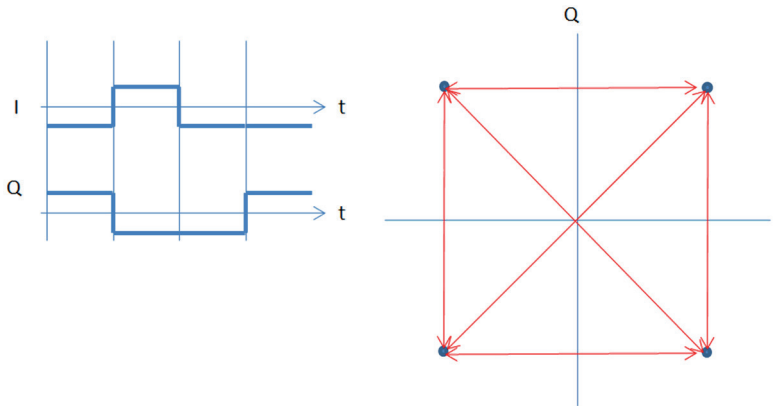
A 8. ábrán látható chip SPI-interfészen kommunikál, így a jelfeldolgozó processzorhoz illesztése SPI-periférián keresztül valósítható meg. A dsPIC33 jelfeldolgozó controller (DSC) család tagjai általában 1-2 ilyen interfésszel rendelkeznek [5]. A kommunikáció tekintetében a jelfeldolgozó processzor lesz a „master”, míg a D/A-konverter a „slave”. Az SPI-kommunikációt az időtartományban a következő ábrán figyelhetjük meg:



9. ábra  
dsPIC33- és D/A-konverter kommunikáció [6]

Az I- és Q-komponenseknek egyidejűleg, vagyis szinkronizáltan kell megjeleníteniük a D/A-konverter kimenetein, hiszen együttesen írják le a továbbítandó szimbólumot. A D/A-konverter „A”, illetve „B” csatornája csak külön-külön, szekvenciálisan írható, de az LDAC-bemenetvezérléssel az „A” és „B” (I-Q) kimenet egyszerre aktiválható.

A következő ábrán egy szimbólumszekvenciára láthatunk példát, amely példában a modulációs eljárásunk PSK-4:

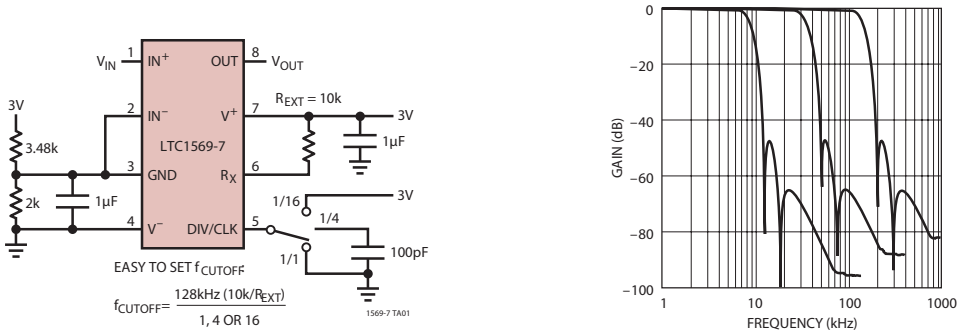


10. ábra  
Szimbólumszekvencia-példa négyállapotú PSK-val [saját szerkesztés]

A fenti példa szerint az analóg kimenetek (I-Q-jelek) feszültségértékei a kevés állapotszám miatt csak két-két értéket vesznek fel. Nagyobb állapotszám, valamint QAM esetén a D/A kimeneti értékkészlete sokkal kihasználtabb.

A végtelenül gyors szimbólumváltás csak végtelen széles spektrumképű jellel történhet, és a négyzögjelhez hasonlító I-Q-jel spektruma is indokolatlanul nagy sávzélességű. Abban az esetben, ha a vételi oldalon a szimbólumból a mintavétel a szimbólum közepénél történik, akkor az I-Q-jel alapharmonikusa pontosan ugyanazt az információt hordozza,

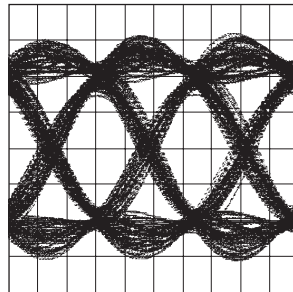
mint a 10. ábrán látható példa négyszögjele. A jelformálás úgynevezett emelt koszinuszos (RRC – Root Raised Cosine) szűréssel megtehető, ami a Linear Technology által gyártott LTC1596 chippel kialakítható [7].



11. ábra

Jelformálósűrő-kialakítás és lehetséges frekvenciaátviteli jellemzői [7]

A jelformált „I” vagy „Q” jeleket, ha időtartományban megfigyeljük az úgynevezett „szem-ábrás” diagrammal, a következőt kapjuk:



12. ábra

Jelformált I vagy Q-jel szemábrás megjelenítése [7]

A külön külön az I- és Q-csatornán elvégzett szűrést viszonylag magas fokszámú analóg szűrővel valósítjuk meg, de ennél még nagyobb nehézséget jelent, hogy ezeknek a szűrőknek lineáris fázismenetűnek kell lenniük, hiszen az I–Q-csatornák szűrésből adódó fáziskülönbség-hibái végzetesek lehetnek, mert az I–Q-síkon az egymáshoz képesti fázishiba a szimbólum helyének elvándorlását eredményezi. Nagy mértékű szimbólumelvándorlás a szimbólumok közti áthalást (Inter Symbol Interference – ISI) okoz, és ez bithibát eredményez a digitális csatornában.

A jelalakformálás egy lineáris művelet, ezért az áthelyezhető a digitális oldalra, az A/D-konverzió elé. Ez esetben viszont a D/A-konverter mintavételi ütemezését sűrűbbre kell megválasztani, mint a szimbólumidőt. A szűrés feladat így direkt struktúrájú, lineáris fázismenetű FIR-szűrővel [9] vagy hullámdigitális tervezési módszerrel kialakított hidszűrővel (LWDF) megvalósítható [8]. Hullámdigitális szűrőtervezéssel kialakított DSP-jelfolyamdiagram lineáris körülmények között garantáltan stabil, vagyis gerjedés- és határciklusmentes. Véges

számábrázolási környezet miatti nemlineáris hatások az esetben nem okoznak problémát, ha a megvalósításkor a passzivitást megtartjuk, például a szorzásműveleteket követően a kerekítéseket abszolútérték-csonkolással végezzük.

Több fejlesztési munkát és nehezebb átskálázhatóságot jelent az, ha a szimbólummintákat gondolatban előszűrjük, ezeket a DSC programmemóriájában letároljuk, és onnan, mint „lookup table”-megoldással a mintavételi ütemezéssel kiolvassuk.

Ez esetben a szűrési feladat nem a valós időben történik, hanem a fejlesztési fázisban, így a jelfeldolgozó eszközünkkel megvalósított I–Q-jel előállító modul (symbol mapper) lényegében egy ütemezett táblázatolvasási feladattá egyszerűsödik.

## Összegzés

Jelen cikkben a drónok kommunikációs csatornáihoz alkalmazható digitális I–Q-modulációs megvalósítás elméletét és gyakorlatát kívántam bemutatni. A megvalósítás kis számítási kapacitású, fix pontos számábrázolást alkalmazó digitális jelfeldolgozó processzorral is történhet. Az algoritmusokat dsPIC33FJ és E sorozatú DSC-n teszteltem, jelformáláshoz mind a direkt struktúrájú, mind pedig a hullámdigitális eljárásokat vegyesen alkalmaztam. Jelen cikkben elsősorban az elméleti alapok összességét és a hardver kialakítását mutattam be.

## Hivatkozások

- [1] M. Palik, „100 éves a magyar repülésirányítás,” in *Repüléstudományi Szemelvények*, B. Békési és L. Szilvássy szerk. Szolnok, Magyarország: Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet, 2016, pp. 205–231.
- [2] G. Major, M. Palik és B. Kiss, „Migration from a Bird's Eye View,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 3. sz. pp. 189–202. 14 p. 2017.
- [3] I. Makkay, „Ütközések elkerülése a kisgépes és a pilóta nélküli repülésben,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 1 sz. pp. 59–66. 8 p. 2017.
- [4] L. Ványa, „Pilóta nélküli repülő eszközök elektronikai hadviselési alkalmazása szakértői rendszer támogatásával,” *Repüléstudományi Közlemények*, Klnsz. 1. pp. 213–220. 8 p. 2001.
- [5] dsPIC33E Family Data Sheet (DS70616G), [Online]. Elérhető: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70616g.pdf> (Letöltve: 2020. 02. 18.)
- [6] MCP4822 Data Sheet, [Online]. Elérhető: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/20002249b.pdf> (Letöltve: 2020. 02. 18.)
- [7] Analog Devices, “LTC1569-7 Data Sheet,” *Analog Devices*, [Online]. Elérhető: [www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/15697fs.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/15697fs.pdf) (Letöltve: 2020. 02. 18.)
- [8] L. Gazsi, “Explicit Formulas for Lattice Wave Digital Filters,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, vol. 32, no. 1. pp. 68–88. January 1985. DOI: <https://doi.org/10.1109/tcs.1985.1085595>
- [9] T. Wühl, *DSP algoritmusok*. Budapest: Óbudai Egyetem-KVK-2116, 2014.
- [10] T. Wühl, *Hullámdigitális jelfeldolgozás alapjai*. Budapest: Óbudai Egyetem-KVK-2073, 2010.

## DRONE COMMUNICATION EFFICIENT REALISATION OF DIGITAL I-Q MODULATION WITH DIGITAL SIGNAL CONTROLLER

*Drones are used in many areas. Almost every application requires drones to receive or send information to another drone or to the ground segment. On the analogue transmission channel, information described by digital signals can be transmitted by digital modulation techniques.*

*In this article, I present an effective multilevel digital modulator that can be implemented with a low-cost signal controller using fixed-point representations of numbers. The presented DSP algorithm produces an analogue I-Q output signal that can be converted to an RF radio signal by an analogue AM-DSB/SC method with orthogonal carriers.*

**Keywords:** drone, communication, I-Q-modulator, DSP

---

*Dr. habil. Wühl Tibor PhD*  
egyetemi docens  
Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar,  
Híradástechnika Intézet  
wuhrl.tibor@kvk.uni-obuda.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-7522-3511>

*Dr. hab. Tibor Wühl, PhD*  
Associate Professor  
Óbuda University, Telecommunication department  
[wuhrl.tibor@kvk.uni-obuda.hu](mailto:wuhrl.tibor@kvk.uni-obuda.hu)  
<https://orcid.org/0000-0002-7522-3511>

---



Domán László, Pokorádi László, Szilvássy László

## Repülőeszközök idegen-barát felismerésének kockázatát befolyásoló tényezők ok-okozati elemzése

*A katonai repülőeszközök harctéri túlélésének biztosítása elsődleges fontosságú feladat. Nem elég csak azt ismernünk, hogy melyek azok a berendezések, rendszerek, amelyek képességeikkel növelni tudják a repülőeszközök túlélőképességét, hanem ezen eszközök megbízhatóságának ismerete is nélkülözhetetlen. Számos módszer létezik a megbízhatóság elemzésére. Tanulmányunk egy a túlélőképességet befolyásoló tényezőt elemez egy konkrét rendszer példáján keresztül.*

**Kulcsszavak:** túlélőképesség, megbízhatóság, Ishikawa-elemzés

### Bevezetés

A katonai repülőeszközök túlélőképességének növelése érdekében alkalmazott fedélzeti önvédelmi eszközök esetében is az egyik alapvető cél, hogy a képességeik és hatékonyságuk növelése mellett a működőképességük is biztosítva legyen. Ennek egyik fontos eleme az azt veszélyeztető kockázatok megelőzése, illetve csökkentése. A kockázatkezelésre, illetve kockázat becslésére számos módszer létezik. Mindegyikben az a közös, hogy a felmerülő kockázatokat, annak következményeit, illetve kiváltó okait valamilyen módon megpróbálja azonosítani, rendszerezni és rangsorolni. A jövőbeni kockázatok csökkentésének egyik fő eleme a már bekövetkezett események kivizsgálása és az eredmények megállapítása után a kockázatcsökkentő intézkedések alkalmazása.

A másik módszer a még be nem következett, de megjósolható események feltárása és a megelőzésük érdekében teendő övintézkedések meghatározása. Ezek megállapítása sokkal nehezebb, hiszen egy olyan lehetséges esemény bekövetkezését kell feltárni és azonosítani, amelyre esetleg még soha nem volt példa, és nincs semmilyen tapasztalatunk a bekövetkezésük megállapítására. Az elemzések során fontos kérdés a körülmények, az esetlegesen kiváltó okok pontos, körültekintő leírása és azokból a következmények levonása. A kockázatkezelés során szükség van megbízható adatforrásra, időre, technikai háttérre, a döntéshozók tapasztalatára, ismeretére, esetleg megérzéseire [1].

Számos könyvet, jegyzetet és tanulmányt találunk a különböző kockázatbecslő eljárásokról. Pokorádi [10] jegyzetében a kockázatelemzés technikai eszközök üzemeltetésében elfoglalt szerepét írja le. Fenyvesi egy korábbi kockázati esemény részletes elemzésén keresztül világít rá az üzemeltetési folyamatok kockázatát befolyásoló tényezőkre [1]. Farkas és Héray [11] jegyzete

a műszaki termékek minőségi és megbízhatósági elemzésével ismerteti meg az olvasókat. Koncz tanulmánya a 8D problémamegoldó technikát és annak kapcsolatait más minőség-technikákkal mutatja be. A 8D-eljárás jellemzően az autóiiparban használt technika, amely az elmúlt évek során nagy jelentőségre tett szert, hiszen nemcsak az autógyártó nagyvállalatok, hanem a teljes autóiipari beszállítólánc alkalmazza [14]. Bárkányi értekezésében olyan matematikai modellt dolgozott ki, amely alkalmas egy felderítő komplex rendszer és annak (al)rendszerei megbízhatósági mutatóinak számítására. A kidolgozott matematikai módszert a kutatás során alkalmassá tette egyszerűbb és bonyolultabb rendszerek vizsgálatára [12].

A DOD Dictionary of Military and Associated Terms kiadványban az identification, friend or foe (IFF<sup>1</sup>) fogalma „egy olyan jeleket sugárzó eszköz, amit a sikeres azonosítást (felismerését) követően barátnak (saját erőnek) tekinthetünk” [2]. A radar operator's manual, radar bulletin no. 3, (radthree) 1945 megjelent kiadványa bemutatja a radarok működési elveit, jellemzőiket és emellett talán elsőként mutatja be és elemzi az IFF-rendszer, azon belül is az akkor korszerű IFF Mark III eszköz működési elvét, felépítését [3].

Az idegen-barát felismerő berendezése egy másodlagos radarrendszer,<sup>2</sup> amely impulzusmodulált összeköttetést és a légicél azonosítását, illetve felismerését biztosítja a légiforgalom-irányítás és a légvédelmi rendszerek számára (lásd 1. és 2. ábra). Ezek olyan transzponderek<sup>3</sup> (válasz-jeladó berendezés) vagy interrogátorok (lekérdező másodlagos radar), amelyek működése a földi radarok kérdezőjeleinek vételén és az ezekre automatikusan kódolt válaszjelek visszasugárzásán alapszik. A rendszer kooperatív, mert a fedélzeti transzponder aktív választ igényli a vett lekérdezésre, emellett impulzusmoduláció alkalmazásával biztosítja az azonosítást, ahol az impulzusok távolsága (pozíciója) és szélessége hordozza a szükséges információt [4].

Jelenleg a NATO-ban használt idegen-barát eszközök általános leírását, technikai adataikat, mind a válaszjeladó berendezések, mind a lekérdező szekunderradarok különböző funkcióival és teljesítményadatokkal, kódolásokkal kapcsolatos követelményeket a Stanag 4193: Technical characteristics of the IFF Mk XIIA system,<sup>4</sup> az azonosítási eljárással kapcsolatos információkat pedig a Stanag 4162: identification data combining process<sup>5</sup> NATO egységesítési egyezmény tartalmazza A dokumentumok NATO RESTRICTED (korlátozott hozzáférésű), NATO SECRET (titkos) és NATO UNCLASSIFIED minősítéssel vannak ellátva, emiatt a nyilvánosság számára nem hozzáférhetők [5].

A dokumentumok tartalma hasonló az ENSZ szakosított intézménye, a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet<sup>6</sup> által meghatározott szabvány 10 függelékében szereplő légiforgalmi távközlési követelményekhez, amelyben valamennyi, a légiforgalomban használatos táv/hírközlő, hang- és digitális kommunikációs, navigációs, légtérfelderítő, repülőtéri felszint felügyelő, összeütközési megelőzőrendszerrel szemben támasztott követelmények, a rádiótávbeszélés eljárásai, digitális adatkapcsolati rendszerek alkalmazásának szabályai megtalálhatók [6].

Tanulmányunk célja egy a túlélőképességet befolyásoló tényező, az idegen-barát felismerés elemzése és a vizsgálat egy konkrét rendszer példáján keresztüli bemutatása.

<sup>1</sup> IFF – identification, friend or foe: idegen-barát felismerés.

<sup>2</sup> SSR – Secondary Surveillance Radar – másodlagos radar rendszer.

<sup>3</sup> Transzponder – a transmit (továbbít, sugároz) és responder (válaszadó) szavak összevonásából származik.

<sup>4</sup> STANAG 4193: Mark XIIA idegen-barát rendszer technikai jellemzőiről.

<sup>5</sup> STANAG 4162: Azonosítási eljárásról.

<sup>6</sup> ICAO – International Civil Aviation Organization – Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet.

Tanulmányunk az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezetben röviden bemutatjuk a vizsgálatunk során alkalmazott Ishikawa-elemzést. A 3. fejezetből a katonai repülőeszközök idegen-barát felismerő rendszereit ismerheti meg az olvasó. A 4. fejezet az idegen-barát felismerési rendszerének ok-okozati elemzését mutatja be. Végezetül a Szerzők összegzik a tanulmány alapján levonható következtetéseket.

## Az Ishikawa-elemzés

Ennek az elemzésnek számos elnevezése ismert: (Kaorus Ishikawa, a Tokiói Egyetem professzoráról, az elemzés kidolgozójáról elnevezve) Ishikawa, ok-okozati, halszákaelemzés, illetve angol nyelvű szójátékként létrejött a „Fishikawa” megnevezés is. Az ok-okozati elemzés célja egy probléma vagy állapot (vagyis az okozat) összes lehetséges okának szisztematikus, növekvő részletességgel történő meghatározása és grafikus ábrázolása.

Elsősorban a probléma meghatározására van szükség a „Mi?”, „Hol?”, „Mikor?”, „Miért?” kérdések segítségével. Ezután az esetlegesen fellépő hibaokokat tárjuk fel probléma, fő ok, okok sorrendben. Harmadik lépésben azonosítjuk, súlyozzuk az okokat, és ábrázoljuk a halszáka-diagramot.

A hal feje az ábra jobb oldalán helyezkedik el, ide írjuk a problémát mint okozatot. A hal gerincéből kiinduló szálkákon a fő befolyásoló okcsoportokat szemléltetjük, az egyre kisebb szálkákon pedig az alsóbb rendű hibaokokat ábrázoljuk – egészen addig, míg el nem jutunk a gyökérokokig. Tehát a probléma megszüntetéséhez az okok felismerése és elemzése alapján juthatunk el.

Az elemzés során kapott eredményeket növekvő részletességgel ábrázoljuk. A hierarchikus felépítésnek köszönhetően a vizsgálat menete mindenki számára egyszerűen értelmezhető. A halszákaelemzéssel végzett analízis alaposabb elemzést tesz lehetővé, mint az általános mérnöki gondolkodásból adódó elemzés.

Ez egy olyan alapvető okelemző módszer, amely a problémák ok-okozati összefüggéseinek megállapítására alkalmazható. Hatékonyságnövelő eszköz, ami irányulhat problémára, amit meg kell oldani, lehetőségre, amit meg kell ragadni, kockázatokra, amelyeket azonosítani kell, eredményre, amit el kell érni. A jelenre és a jövőre is alkalmazható. Használható egy konkrét helyzet, probléma kialakulásának vizsgálatára vagy egy megoldási kísérlet kudarcainak elemzésére.

Az ok-okozati diagram azt a kapcsolatot reprezentálja, amely az egyes okozatok és az azokat befolyásoló okok között fennáll. Az egyes okozatokat ugyanis általában az okok különböző fő kategóriái idézik elő, amelyek az alábbi négy vagy nyolc nagy csoportba sorolhatók be:

- ember (man);
- gép (machine);
- módszer (method);
- anyag (material);
- erőforrások (money);
- management;
- környezet (mother nature);
- mérés (measurement).

A fentiek csupán ajánlott kategóriák, emiatt az okok minden olyan csoportosítása megengedett, ami elősegítheti a kreatív gondolkodást.

Az Ishikawa-elemzés jellemzője általában teljesszűrésre törekvés és az oktató jelleg. Akkor jó, ha nincsenek kiugró elemek, a többihez képest terjedelmes okcsoportok [7].

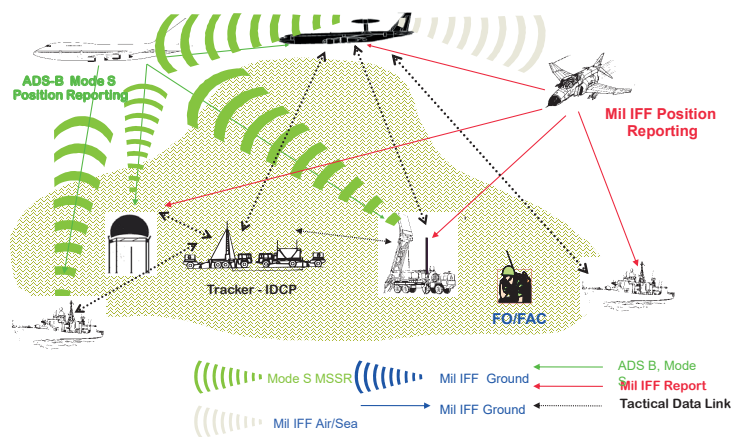
## Idegen-barát felismerés

A légi járművek túlélőképesség-növelésének egyik eleme lehet, ha a saját légvédelmünk a repülőeszközünket „barátként” ismeri fel, és nem kezeli „idegenként” vagyis célként.

Ennek egyik legnagyobb eleme a második világháború első felében kifejlesztett idegen-barát felismerő berendezés volt, amit a légi felderítésben már korábban alkalmazott RADAR megjelenése nagymértékben elősegített. Ezzel elkerülhetők lettek a légvédelmi rendszerek által okozott úgynevezett „baráti tüzek”, amelyek már a különböző háborús konfliktusokban számos veszteséget okoztak a légierők számára [8].

Általánosságban elmondható, hogy az idegen-barát eszközök a harci azonosítás<sup>7</sup> szélesebb katonai fellépésének eszközei, amelyek pontos jellemzést adnak a harc területén észlelt tárgyról az operatív döntések támogatása érdekében. Ezt a jellemzést a meghozandó döntésektől és a helyzettől függően le lehet szűkíteni: a „barát”, „ellenség”, „semleges” vagy „ismeretlen” szereplőkre. Más esetekben nem leszűkítve, de többek között a típusra, nemzeti hovatartozásra vagy a küldetés céljára lehet következtetni. A harci azonosítás nemcsak a baráti tűz esélyét csökkentheti, hanem hozzájárul az általános taktikai döntéshozatalhoz is [9].

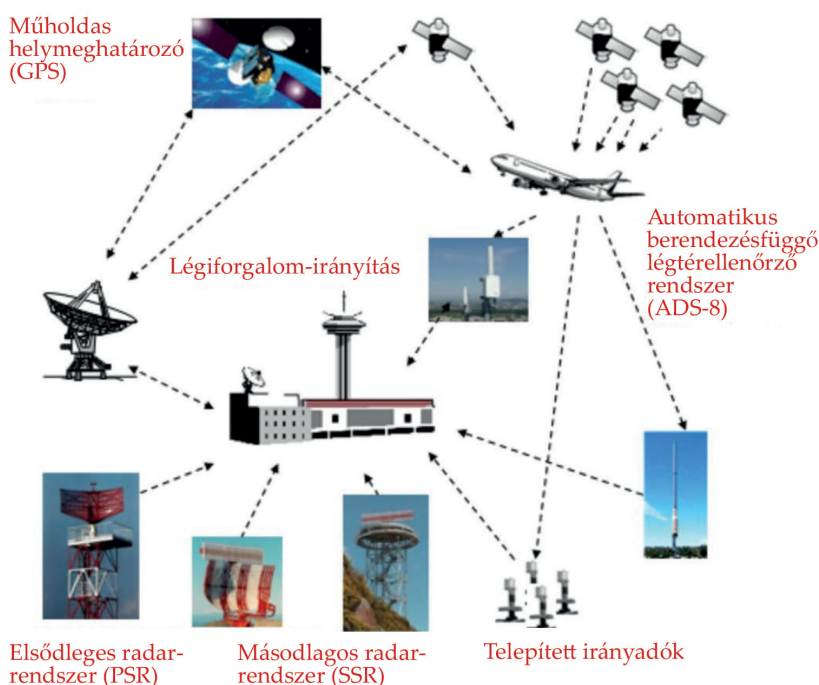
Az elnevezés ellenére egy IFF-képességekkel rendelkező berendezés csak a saját célokat képes „pozitívan” azonosítani, az ellenséget nem. Ha egy IFF-rendszer által küldött kérdezőjelre nem érkezik válasz, vagy érvénytelen válasz érkezik, ezáltal az objektum nem minősül saját vagy baráti eszköznek, de ettől még nem lesz „ellenségként” sem kiválasztva [3].



1. ábra  
A katonai és polgári rendszerek együttműködése [10]

<sup>7</sup> CID – Combat IDentification – harci azonosítás.

A katonai alkalmazást követően a kereskedelmi légi forgalom nagymértékű növekedésének is köszönhetően az 1950-es években a polgári repülésben is megjelentek a földi telepítésű hagyományos radarok mellett a másodlagos radarrendszerek. Az eszközök lehetővé tették a polgári légiforgalom-irányítás számára, hogy megkönnyítsék a légi járművek azonosítását, és meghatározzák azok viselkedését [11]. Időközben, a megnövekedett légi forgalom miatt az SSR-rendszert továbbfejlesztették, és az ezáltal létrehozott S-üzemmód (Mode S) segítségével szelektív, egyedi (24 bites) azonosítás vált lehetővé. A Mode S transzpontert a repülőgépfedélzeti berendezések közül az ütközésselkerülő rendszer (TCAS – Traffic Collision Avoidance System) és az automatikus berendezésfüggő légtérelenőrző rendszer (ADS-B – Automatic Dependent Surveillance – Broadcast) is használja mint egyfajta kommunikációs eszközt az adatai továbbítására (2. ábra) [12].



2. ábra  
Légiforgalom-irányításban együttműködő felderítő eszközök [13]

Elmondható, hogy az SSR-rendszerek egyik legnagyobb előnye a PSR<sup>8</sup>-rendszerekkel szemben, a nagyobb hatótávolság és a lényegesen kisebb interferencia mellett az, hogy a légi célok magassági adatainak megismerése és az azonosítása (felismerése) is lehetséges [14].

A további elemzéseket megelőzően fontos megkülönböztetni, hogy jogi szempontból mit is jelent valójában a polgári és a katonai, állami légi jármű. Az 1944-es Chicagói Egyezmény

<sup>8</sup> PSR – Primary Surveillance Radar – elsődleges radarrendszer.

legfontosabb rendelkezései közül kiemelkedik a nemzeti légtérben az állam teljes és kizárólagos szuverenitásának kimondása, a nem menetrendszerű és menetrendszerű légi járatok jogainak meghatározása, valamint a polgári és állami légi járművek elhatárolása. Egyezmény csak és kizárólag a polgári légi járművekre alkalmazható, míg az állami légi járművekre nem.

Állami légi járműnek kell tekinteni: a katonai, a vám- és a rendőri szervek céljára szolgáló légi járművet. Tekintettel arra, hogy ez a felsorolás nem tételes, ezért az állami légi járművek kategóriájába tartoznak még: a kutató-mentő, a légimentő, a Nemzetközi Vöröskereszt, a parti őrség, a humanitárius segélyszállító, a földmérési-térképészeti felmérő, a speciális feladatokat ellátó, például rabokat, menekülteket szállító, valamint az állami vezetőket kiszolgáló légi járművek. Fontos kiemelni, hogy az állami légi járművekre nem a Chicagói Egyezmény szabályai, hanem a nemzeti jog belső szabályai vonatkoznak.

Az állami és polgári repülőgépek megkülönböztetése nem a légi járművek regisztrálásától, azok tulajdonjogi bejegyzésétől vagy technikai jellegzetességeiktől, hanem a tevékenységük céljától és annak végzésétől függ.

A légi járművet elsősorban a végzett feladat kategorizálja. Egyértelműen államinak számítanak a katonai éles-, gyakorló- vagy bemutató repülések, a katonai titkos küldetések, a rutin katonai szállítási műveletek és a rendvédelmi célú repülések. Állami repülésnek számít az is, ha a katonai légi jármű, katonai személyzettel, de polgári repülési tervet használva repül át egyik repülőtérről a másikra.

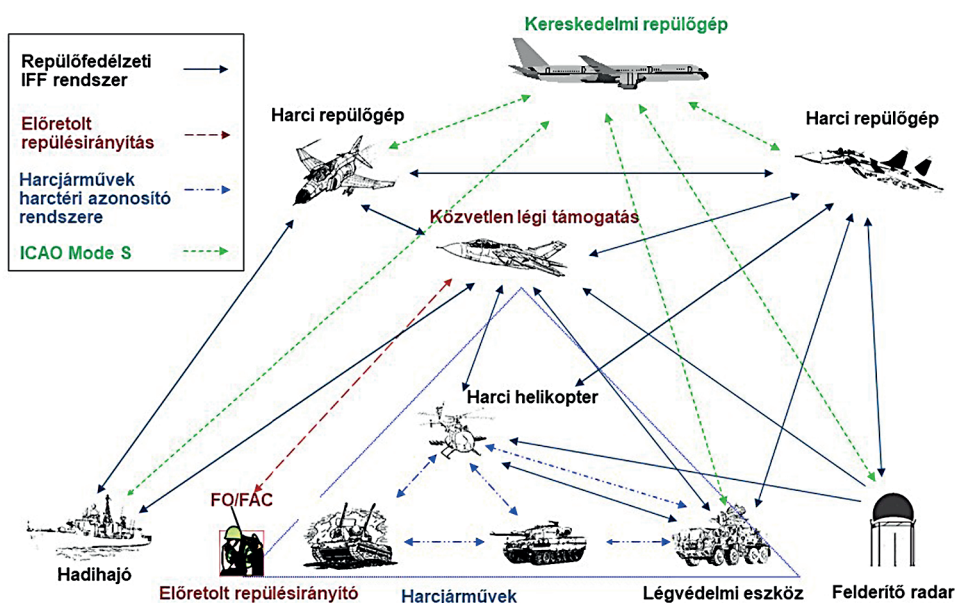
A polgári és katonai együttműködés az úgynevezett Rugalmas Légtérfelhasználás koncepció szerint kétfajta repülést ismer: az Általános Légiforgalmi repülést, amely az ICAO szabályai szerint végrehajtott repülést jelent; és a Műveleti Légiforgalmi repülést, amely nem kereskedelmi, hanem az állami (katonai) vagy közhasznú műveleteket végrehajtó, katonai légi járművel végzett repülést foglalja magában.

Míg a repülés szabályszerű végrehajtásakor a polgári légi járművek viszonylag nagy szabadsággal rendelkeznek, addig az állami légi járművek csak külön államközi megállapodás vagy esetenként kiadott engedély alapján és ezek feltételeinek megtartásával repülhetnek át más állam területe felett, illetve szállhatnak le annak területén [15].

A polgári repülésben a légi jármű azonosítása, a helyzet, a magasság és egyéb információk kisugárzása ICAO-követelményeknek megfelelően történik. Ha a légi jármű rendelkezik SSR-transzponderrel és az megfelelően működik, akkor a kérdező berendezés, úgynevezett interrogátor a megfelelő válaszhoz jut [16].

A légtér jogosulatlan igénybevétele esetében a légi jármű feltartóztatható (elfogható) és leszállásra felszólítható [17]. Az elfogás szabályai és célja többek között a polgári légi jármű azonosítása, követése, megsemmisítése, eltérítése, a légi járművel való kommunikáció létrehozása. Az ICAO-szabályok [18] értelmében az elfogás kizárólag a legutolsó eszközként használható és elsődlegesen a polgári légi jármű azonosítására és csak indokolt esetben annak eltérítésére kell, hogy irányuljon [19].

A katonai vagy állami repülésben használt transzponderek és interrogátorok kettős rendeltetésű aktív válaszadó berendezések. Feladatuk egyrészt alapvető repülési adatok biztosítása a polgári légiforgalmi irányítás részére, illetve a kódolt felismerőadatok továbbítása a katonai légiforgalmi irányítás számára, lehetővé téve a közös légtérhasználatot és a katonai repülőeszközök idegen-barát, illetve nemzeti hovatartozásának felismerését. A katonai repülésben az interrogátorokat nemcsak a földi lokátorállomások mellett, hanem az olyan harci repülőgépeken is elhelyezik, amelyek rendelkeznek repülőfedélzeti radarokkal (3. ábra) [20].



3. ábra

A NATO-ban használt felismerőrendszerek együttműködése [10]

Mivel Magyarország légtere is része a szövetségi légtérnek, a magyar légtér katonai felügyeletét, ezáltal a repülőeszközök harci azonosítását a Magyar Honvédség Légi Vezetési és Irányítói Központ végzi.

Légtér jogosulatlan igénybevétele esetén a rendelkezésre álló információk alapján a légtérellenőrző részleg feladata a beérkező fuzionált légi helyzet szimbólumainak azonosítása. Ezek az információk lehetnek repülési tervek, diplomáciai engedélyek, a polgári légiforgalmi szolgálatok és repülőterek személyzeteinek jelentései, megfigyelések, illetve a másodlagos radarjelek, többek között az idegen-barát eszközök adatai. Itt döntenek arról is, hogy egy légi cél elleni beavatkozás esetén földi telepítésű légvédelmi erőt vagy harci repülőgépeket alkalmazzanak-e [20].

Korábban említettük alapján az idegen-barát eszközök alkalmazásának eredeti oka az volt, hogy felismerje a „baráti”, tehát a saját erőket. Emiatt elengedhetetlen, hogy az ellenség ne legyen képes használni a rendszert még akkor sem, ha az idegen-barát rendszer konkrét berendezései fizikailag a kezükbe kerülnek, ezért az azonosítás és a felismerés céljából egy kriptografikai módszerekkel titkosított, rejtjelezett jelet sugároznak ki, amely nagymértékben megnehezíti, legtöbb esetben megakadályozza az illetéktelen felhasználást. A transzponder egy védett üzemmódu, rejtjelező eszközzel van összekapcsolva (lehet egy berendezés is), amely az inverz algoritmusokat használja a dekódolására. Ha a titkosítóeszköz nem tudja megfejteni a kérdezőjelet, akkor nem lesz képes megfelelően reagálni, és így nem lesz barát-ként felismerhető.

Azonban ha a rejtjelező eszköz vagy a transzponder az ellenséges erők kezébe kerülne, az illetéktelen használat elkerülése érdekében minden egyes eszközbe rendszeresen be kell

tölteni egy speciális kódkulcsot. A változó kódkulcsok és a kriptográfiai technikák, illetve a rejtjelezési algoritmusok segítségével biztosítható a felismerőrendszer magas fokú biztonsága.

A NATO-ban alkalmazott Mark XII típusú IFF-rendszer Mode 4 képességet tervezetten 2021-től leváltja a Mark XIIA IFF Mode 5 [21].

A Magyar Honvédség által beszerzett Airbus H145M típusú helikopterek is már ilyen képességgel fognak rendelkezni [22].

A jelenlegi korszerű Mark XIIA típusú IFF-rendszer (4. ábra) a következő üzemmódokon működik:

- Mode 1, amelynek 64 válaszkódja van, a katonai légiforgalmi irányításban használják, nem rejtjelezett üzemmód, felismerésre nem használják.
- Mode 2, ebben a módban 4096 lehetséges válaszkód létezik, az adott légi jármű azonosítására használják, a Mode 1-hez hasonlóan felismerésre nem alkalmas.
- Mode 3/A, hasonlóan a Mode 2-höz ebben a módban is 4096 lehetséges válaszkód létezik, az üzemmódot a polgári légiforgalmi irányítás használja a repülőgépek azonosítására.
- Mode C, amely szintén a polgári légiforgalom-irányítás számára biztosítja a repülőgép barometrikus magassági adatainak továbbítását.
- Mode S, amely egy adott repülőgép szelektív azonosítása (24 bit) mellett többletinformációkat képes kisugározni a „rövid” 56 bites vagy „hosszú” 112 bites adatblokkok felhasználásával, a polgári légiforgalom-irányítás számára.
- Mode 4, amely egy 32 bites rejtjelezési algoritmus segítségével védett felismerést tesz lehetővé.
- Mode 5, amely GPS és egyéb adatok továbbítását teszi lehetővé hasonlóan, mint az ADS-B rendszer. A továbbfejlesztett rejtjelezési és egyéb technológiai fejlesztések alkalmazásával számos hátrányt kiküszöböltek, többek között kisebb lett a valószínűsége az eszköz felderítésének, jobban ellenáll az interferenciának, a zavarásoknak, illetve jelentősen javult a hatótávolsága, emellett további kiterjesztett képességek használatát tették lehetővé az előd Mode 4 üzemmódhoz képest [23], [24].



4. ábra

Egy korszerű Mark XIIA AN/APX 123/A(V) eszköz [25]

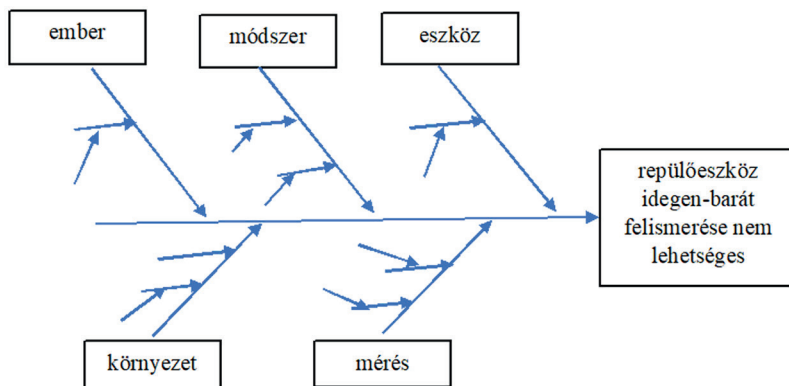
## Esettanulmány

Tanulmányunkban azon esemény kiváltó okait határoztuk meg, amely során egy legalább Mode 4 katonai üzemmódú IFF-transzponderrel felszerelt légi jármű idegen-barát felismerése nem következik be. Célunk az volt, hogy feltárjuk az összes lehetséges okot, amelyek a problémát eredményezhetik, és bemutassuk, hogy egy olyan katonai eszköz, mint egy idegen-barát rendszer rendellenes működésének feltárására is felhasználhatók a második fejezetben ismertetett módszerrel.

A katonai alkalmazás esetén a repülőeszközbe a földi előkészítés során betöltnek egy kódkulcsot, amit egy speciális eszközzel generálnak. A betöltéskor az eszköz csak az érvényes formátumú kódokat fogadja el. A repülőgép felszállása után már nincs lehetőség a kódkulcs ismételt betöltésére, amennyiben a légi jármű lezuhan vagy meghatározott céllal (például tüzelőanyag-töltés, átfegyverzés) leszáll, a repülőgépvezetőnek lehetősége van a kód megtartására. Amennyiben ezt elmulasztja, a kódkulcs automatikusan törlődik, nehogy az ellenség kezére kerüljön a kóddal feltöltött eszköz. Repülés közben a hajózó személyzet kezeli az eszközt, és ezáltal lehetősége van a kódkulcsot bármikor kitörölni, az eszközt kikapcsolni vagy bármelyik üzemmódot letiltani, ez a földi ellenőrzések miatt beépített opció.

Az IFF-eszköz kijelzi a személyzet számára, ha a kérdezőkódhoz hasonló jeleket érzékelt, de nem történt válasz, valamint az érvényes válaszadásokat is.

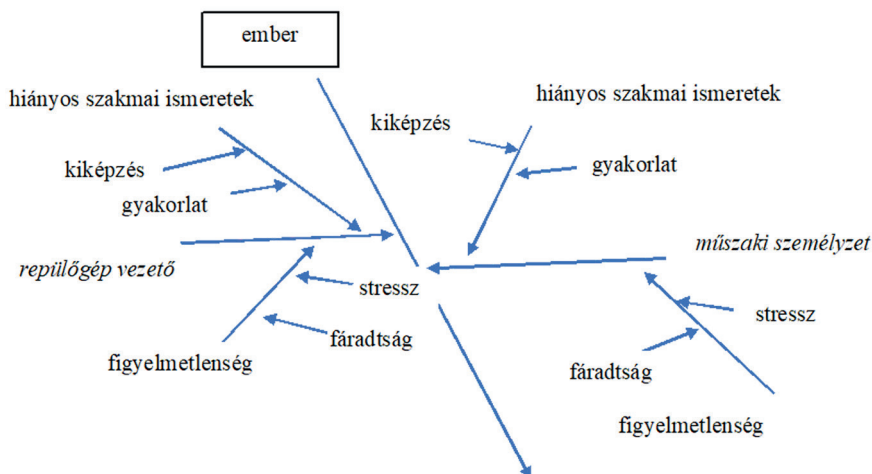
A kérdés az volt, hogy milyen okok vezethetnek ahhoz, hogy repülőeszköz idegen-barát felismerése nem lehetséges. Az esemény körülményeit, a lehetséges hibaokokat a szakmai tudásunk és tapasztalataink alapján vizsgáltuk. A vizsgálat szempontjából az embert, a módszert, az eszközt, a környezetet és a mérést választottuk ki (5. ábra).



5. ábra  
Halszállkadiagram fő okcsoportjai [7]

### Az ember fő okcsoport elemzése

Az ember fő ok bekövetkezésének oka lehet a repülőgépvezető vagy a földi kiszolgálásban részt vevő műszaki személyzet nem megfelelő tevékenysége (6. ábra).



6. ábra  
Az emberi tényező fő okcsoport elemzése [7]

Az elemzésből látható, hogy az emberi tényezők esetében hasonló okokra lehet következtetni. A hiányos szakmai ismeretek, amelyek a kiképzés elégtelenségéből vagy a nem elegendő gyakorlati tapasztalatból következhetnek. A figyelmetlenség, a fáradtság, a katonai alkalmazás esetén jelen lévő magas stressz, amelyek egy éles harci bevetés esetén nagyban befolyásolhatják a művelet sikerét, mind-mind a lehetséges okok között található. Látható, hogy a repülésbiztonságban és általában a biztonsági rendszerek esetében az emberi tényező, az úgynevezett „human factor” nagy szerepet játszik.

### A módszer fő okcsoport elemzése

A módszer fő ok bekövetkezésének okai elsődlegesen lehetnek a kóddal kapcsolatosak, mint például a kódkulcs töltése, kód ellenőrzése, kódkulcs generálása. Másodlagosan az SSR-rendszerek működéséből adódó kérdés-válasz protokollproblémák.

A kódkulcsok betöltése a rendszerbe manuálisan történik, ami számos hibaokot eredményezhet. Az időkényszer, a párhuzamos tevékenységek miatt esetleg nem töltik be az érvényes kódot, amit persze visszaellenőrzéssel kiküszöbölhetünk, de amennyiben ez is kimarad, elképzelhető, hogy a légi jármű kódkulcs hiányában emelkedik a levegőbe. Megtörténhet, hogy a kódkulcs generálása közben olyan hiba következik be, ami nem teszi lehetővé az érvényes kód elkészítését (7. ábra).

A hagyományos SSR-rendszerek működési alapelveikből adódóan rendelkeznek néhány rendszerszintű problémával. Az első az úgynevezett FRUIT,<sup>9</sup> amikor interferencia miatt a földi radar (interrogátor) olyan válaszjeleket is vesz, amelyeket nem a saját kérdezőkódja

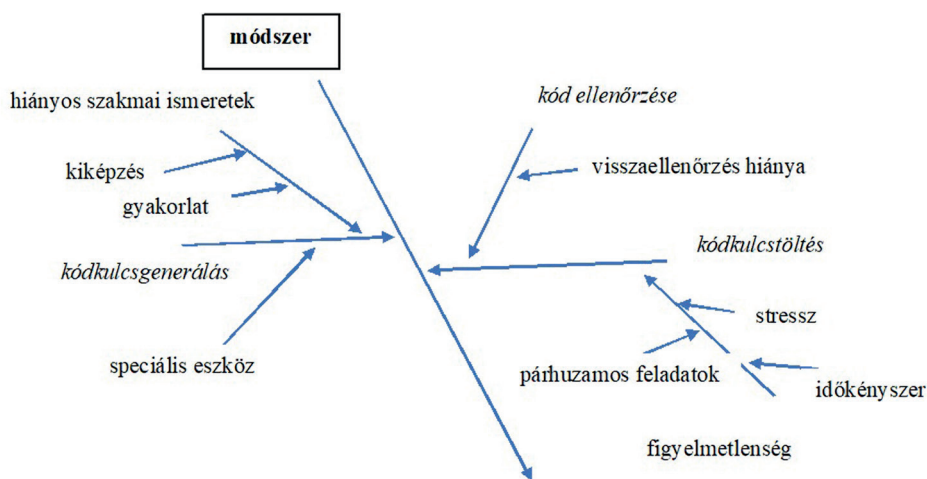
<sup>9</sup> False Replies Unsynchronized In Time (FRUIT) vagy False Replies Unsynchronised to Interrogator Transmission – a kérdezőjellel nem szinkronizált hamis válaszok.

kezdemenyezett, illetve ha a két különböző transzponder válaszjele átfedésbe kerül az interrogátor vevőjében, és ezáltal az egyik céljel elveszhet.

A másik alapvető probléma a „Garbling”, a megnövekedett légi forgalom miatt a repülőgépek gyakran vannak nagyon hasonló radarpozícióban az azimut (irány)- és távolságadatokat tekintve, különbség csupán a repülési magasságukban van. Ha két légi jármű egymáshoz képesti távolsága elég alacsony, akkor a két repülőgép válaszüzenetei átfedhetik egymást és dekódolásuk megnehezül vagy lehetetlenné válik. A legsúlyosabb a helyzet, ha a két repülőgép azimutja nagyon közel esik egymáshoz (közel azonos irányban látszanak), és mindkét gép transzpondere ugyanarra az interrogátorüzenetre válaszol.

A következő eset, amit a szakirodalom a „Capture” névvel illet, amikor légi jármű transzpondere egyidőben csak egy interrogátorral képes kommunikálni, nagymértékben csökkenti a rendszer hatékonyságát.

Előfordulhat, hogy a transzponder a túl sok kérdezőjel vagy egy másik interrogátor nagyobb energiájú nyalábjába, illetve interferencia miatt túlterheltté válik, és nem képes válaszolni az előző interrogátornak [16].



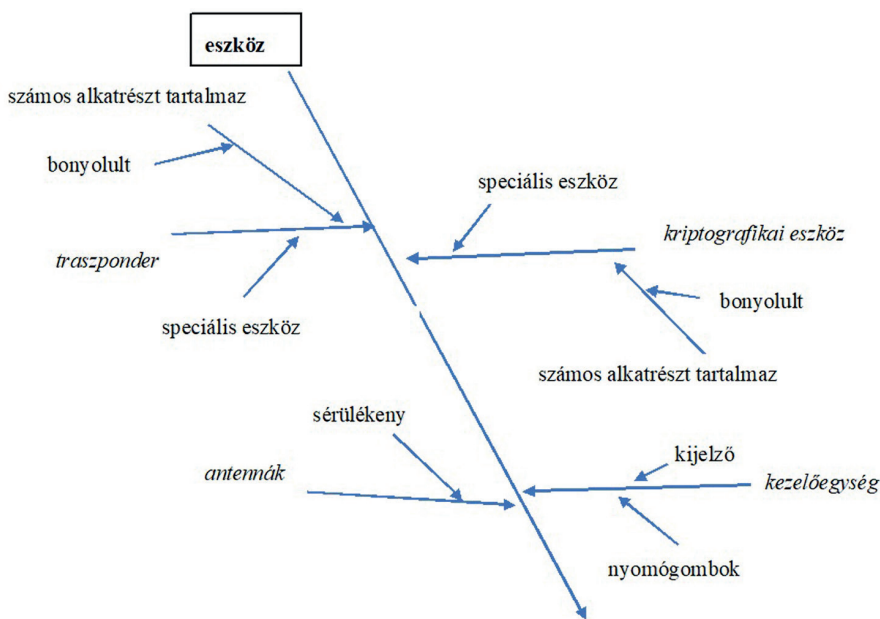
7. ábra

A módszer fő okcsoport elemzése [7]

## Az eszköz fő okcsoport elemzése

Az eszköz fő ok bekövetkezésének oka lehet számos berendezés, többek között a transzponder vagy a kriptografikai eszköz, illetve az antenna. Például az AN/APX-123/A(V) eszköz esetében két képességet integráltak egy berendezésbe (5. ábra). Bonyolult, komplex digitális jelfeldolgozó egységekről, számítógépekről, adó-vevő berendezésekről van szó, amelyek felépítésükből adódóan bármikor meghibásodhatnak. A beépített önteszt (BIT – Built in Test) segítségével repülés előtt és közben lehetőség van a meghibásodás detektálására, azonban egy harci feladat végrehajtása során a személyzet a feladat végrehajtására koncentrál, és nem

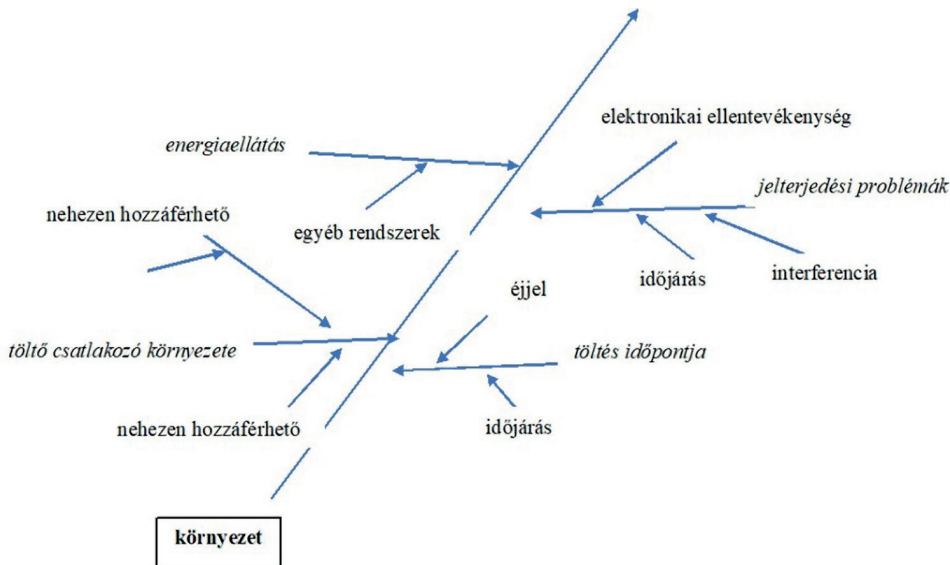
biztos, hogy észreveszi a meghibásodást (8. ábra). A radar elvéből következik, hogy egy földi vagy fedélzeti RADAR nagyobb szög és távolság szerinti felbontóképessége miatt csökkenhet a felderítés hatékonysága az azonosítani, illetve felismerni kívánt repülőeszköztől [16].



8. ábra  
Az eszköz fő okcsoport elemzése [7]

## A környezet fő okcsoport elemzése

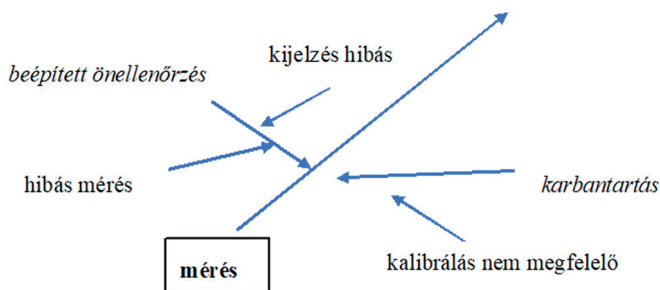
A környezet fő okok közé soroljuk a jelterjedési problémákat, az energiaellátás megszűnését, töltő csatlakozó környezetét, a töltés időpontját. A jelterjedési gondok adódhatnak az ellenséges erők elektronikai harc-tesvékenységéből, a különböző időjárási körülményekből, amelyek a jelterjedést és a jelek vételét ronthatják vagy lehetetlenné teszik. Meghatározó lehet az esetlegesen nehezen hozzáférhető kódtöltő csatlakozási hely, ami nehezíti a kódkulcs megfelelő betöltését. Az energiaellátás megszűnése esetén az eszközök kikapcsolnak, és nem lesznek képesek ellátni a feladataikat, ezek a berendezések általában nem tartoznak az elsődlegesen elektromos energiával biztosítani szükséges eszközök közé (9. ábra).



9. ábra  
A környezet fő okcsoport elemzése [7]

### A mérés fő okcsoport elemzése

A mérés fő okcsoport okai lehetnek, hogy a karbantartás során nem megfelelően vagy egyáltalán nem végezték el a szükséges kalibrációkat, ezáltal az eszközök pontatlanul működhetnek, ami okozhat nem megfelelő működést. A beépített önellenőrzés hibája miatt nem érzékeli vagy nem jelzi ki a meghibásodást, és emiatt a kezelőszemélyzet nem lesz képes felismerni azt (10. ábra).



10. ábra  
A mérés fő okcsoport elemzése [7]

## Következtetések

Összességében megállapítható, hogy az ok-okozati diagram részletes felsorolást szolgáltat a lehetséges okokról, kiválaszthatók és további elemzésnek lehet alávetni a legnagyobb kockázattal bírókat. Azonban az adott okok közötti logikai kapcsolat nem látható, csak a hibaokok felsorolása. Célszerű több hibaelemző módszert egymással kombinálni, például egy Ishikawa-alapú adatgyűjtést a Pareto-elemzéssel, amely egy hisztogram és egy kumulatív vonaldiagram kombinálásából álló statisztikai eszköz, amely azt a döntést készíti elő, hogy mely okok csökkentésére fókuszáljuk az energiát annak érdekében, hogy az okozatra a lehető legnagyobb hatást gyakoroljuk. Ezt követően érdemes egy Hibamód- és hatáselemzéssel folytatni,<sup>10</sup> amely célja az egyes hibalehetőségek felismerése a termék életciklusának minél korábbi szakaszában, a hiba előfordulásának megelőzése és az esetlegesen fellépő hibák megakadályozása. Ezenkívül lehetőségünk van egyéb módszereket, például hibafa, eseményfa, is alkalmazni, hogy teljes képet kaphassunk az adott rendszer megbízhatóságáról, hogy meghatározhassuk azokat az okokat, amelyeket ténylegesen kezelni érdemes, és ahol hibajavító intézkedéseket kell tenni.

## Hivatkozások

- [1] L. Pokorádi és Cs. Fenyvesi, „Üzemeltetési folyamat kockázatát befolyásoló tényezők elemzése,” *Repüléstudományi Közlemények*, 26. évf. 2. sz. pp. 232–246. 2014.
- [2] Department of Defense, „DOD Dictionary of Military and Associated Terms,” 2019.
- [3] United States Fleet Headquarters of the commander in chief NAVY department, Radar operator’s manual, radar bulletin no. 3, (radthree), Washington, 1945.
- [4] J. Géczy és L. Békési, „A repülésben alkalmazott radarrendszerek,” *Repüléstudományi Közlemények*, Klnsz. p. 5. 2007.
- [5] NATO Standardization Document Database, “List of Current NATO Standards,” *NATO Standardization Document Database*, [Online]. Elérhető: <https://nso.nato.int/nso/nsdd/ListPromulg.html> (Letöltve: 2019. 09. 03.)
- [6] ICAO, „ANNEX 10/IV. Légiforgalmi távközlés: Ellenőrző radar és összeütközés elhárító rendszerek,” 2002. [Online]. Elérhető: [www.parlament.hu/irom38/02918/fugg/hu/annex10\\_4.pdf](http://www.parlament.hu/irom38/02918/fugg/hu/annex10_4.pdf) (Letöltve: 2019. 09. 03.)
- [7] O. Fehér, „Ishikawa diagram Halszálka diagram Ok-hatás diagram módszertani leírás,” 2014. [Online]. Elérhető: <http://web.t-online.hu/siriusbt/ishikawa-diagram.pdf> (Letöltve: 2019. 09. 04.)
- [8] „Asdic, radar and IFF systems as used by the rcn: WWII and Post War, IFF systems,” *J. Proc. ca*, 2018. [Online]. Elérhető: <http://jproc.ca/sari/sariff.html> (Letöltve: 2019. 09. 04.)
- [9] Joint Chiefs of Staff, “Joint Publication 3-09, Joint Fire Support,” 2010. [Online]. Elérhető: [https://web.archive.org/web/20140411125036/http://www.dtic.mil/doctrine/new\\_pubs/jp3\\_09.pdf](https://web.archive.org/web/20140411125036/http://www.dtic.mil/doctrine/new_pubs/jp3_09.pdf) (Letöltve: 2019. 09. 04.)
- [10] J. Edwards, „Military aspects on the use of Mode S and Mode S related Systems,” *Slideplayer.com*, [Online]. Elérhető: <https://slideplayer.com/slide/12382986/> (Letöltve: 2019. 09. 04.)

<sup>10</sup> FMEA – Failure Mode and Effect Analysis – Hibamód- és hatáselemzés.

- [11] G. Seres, „Szekunder rádiólokációs rendszerek a repülésirányításban,” *Haditechnika*, 2. sz. p. 5, 1982.
- [12] „Radar Basics,” *Radartutorial.eu*, [Online]. Elérhető: [www.radartutorial.eu/13.ssr/sr24.en.html](http://www.radartutorial.eu/13.ssr/sr24.en.html) (Letöltve: 2019. 09. 04.)
- [13] O. Baud, P. Gomord, N. Honor, P. Lawrence, L. Ostorero, S. Paupiah and O. Taupin, “Air Traffic Control Tracking Systems Performance Impacts with New Surveillance Technology Sensors,” in *Aerospace Technologies Advancements*, T. Arif Ed., 2010, p. 11. DOI: <https://doi.org/10.5772/7164> (Letöltve: 2019. 09. 05.)
- [14] ICAO, „Air traffic management a guide to global surveillance,” ICAO, 2014. [Online]. Elérhető: [www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2014/ADSBIMP/ADSBIMPP12.pdf](http://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2014/ADSBIMP/ADSBIMPP12.pdf) (Letöltve: 2019. 09. 05.)
- [15] A. Sipos, „A polgári légi jármű jogi státusza,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 3. sz. p. 28, 2017.
- [16] ICAO, „Overview of Primary and Secondary Surveillance Radars,” 2011.
- [17] 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet a magyar légtér igénybevételéről
- [18] ICAO, „ANNEX 2. Repülési szabályok,” *parlament.hu*, 2005. [Online]. Elérhető: [www.parlament.hu/irom38/02918/fugg/hu/annex02.pdf](http://www.parlament.hu/irom38/02918/fugg/hu/annex02.pdf) (Letöltve: 2019. 09. 05.)
- [19] Z. Papp, „A polgári légi jármű elleni fegyverhasználat nemzetközi jogi megítélésének és a légtérzsuverenitás értelmezésének újabb irányai, Doktori értekezés, Pázmány Péter Katolikus Egyetem Jog- és Államtudományi Doktori Iskola, Budapest, 2019.
- [20] M. Palik, *A repülésirányítás alapjai*. Budapest: Dialóg Campus, 2018.
- [21] Defence Security Cooperation Agency, „Information on Identification, Friend or Foe (IFF) Systems,” 2018. [Online]. Elérhető: [www.samm.dsca.mil/policy-memoranda/dsca-18-14](http://www.samm.dsca.mil/policy-memoranda/dsca-18-14) (Letöltve: 2019. 09. 05.)
- [22] L. Domán, „Az Airbus H145M helikopter és a túlélőképesség,” *Repüléstudományi Közlemények*, 31. évf. 1. sz. pp. 85–102. p. 18, 2019. DOI: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.1.8>
- [23] T. Lutnaes, *Probability of Positive Identification with an IFF E-scan System*, Uppsala: Uppsala Universitet, 2018.
- [24] R. Sopory, „Everything you wanted to know about IFF Mark XII but were afraid to ask,” *linkedin.com*, 2016. [Online]. Elérhető: [www.linkedin.com/pulse/everything-you-wanted-know-iff-mark-xii-were-afraid-ask-raman-sopory/](http://www.linkedin.com/pulse/everything-you-wanted-know-iff-mark-xii-were-afraid-ask-raman-sopory/) (Letöltve: 2019. 09. 05.)
- [25] J. Keller, “BAE Systems to provide hundreds of aircraft IFF transponders under terms of \$34.3 million contract,” *Military aerospace.com*, 2014. [Online]. Elérhető: [www.militaryaerospace.com/trusted-computing/article/16719001/bae-systems-to-provide-hundreds-of-aircraft-iff-transponders-under-terms-of-343-million-contract](http://www.militaryaerospace.com/trusted-computing/article/16719001/bae-systems-to-provide-hundreds-of-aircraft-iff-transponders-under-terms-of-343-million-contract) (Letöltve: 2019. 09. 05.)

## ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE RISKS OF THE IDENTIFICATION – FRIEND OR FOE

*Ensuring the battlefield survival of aircraft is a top priority. It is not enough to know which equipment and systems are capable of increasing the ability of aircraft to survive, but also of knowing the reliability of these devices. There are several methods for analysing reliability. This article analyses a factor influencing its survival, using the Ishikawa method, as an example of a specific system.*

**Keywords:** *survivability, Ishikawa method, reliability*

---

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

*László Domán  
Major, Chief Technologist, Deputy Head of Department  
Hungarian Defence Forces Aircraft Repair Plant  
Technical Development and Technological Department  
doman.laszlo79@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-4472-2609>*

---

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

*László Pokorádi (CSc)  
Full Professor  
Óbuda University  
Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering  
pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu  
<https://orcid.org/0000-0003-2857-1887>*

---

*Dr. Szilvássy László  
alezredes, egyetemi docens  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék  
szilvassy.laszlo@uni-nke.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-0455-4559>*

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



István Balajti

## Overview of the International Radar Symposium Best Papers, 2019, Ulm, Germany

*Nowadays, the interference cancellation or mitigation plays a key important role in the effective use of the advanced radar technology. This article is focused on the symposium presentations related to Electromagnetic Spectrum Operations (EMSO) of the radar systems. The modernisation of the Hungarian Army, the success of the Zrínyi 2026 program, basically depends on the understanding and the professional service of new technologies during their lifecycle. In civilian applications, the inter-radar interference of automotive radars is an emerging problem for automotive radar applications in case of dense deployment. Consequently, it is a priority task to gather, evaluate and transfer collected expertise on the advanced research findings and concepts related to emerging sensor technologies. It looks like the permanent engineering/scientific policies should be implemented to monitor and maximise radar performance to support safety measures required within EMSO. The article summarises the most recent results of the radars taking into account the domestic expectations.*

**Keywords:** radar, electronic attack/electronic protection, Passive Radar (PR), Bi- & Multistatic Radar Systems, Cognitive Radar

### Introduction

The Germany based International Radar Symposium (IRS) has a long historical development and celebrated its 20<sup>th</sup> anniversary at the end of June 2019 [1]. The successful start was in Munich, Germany, in 1998, where the author of this article represented the Hungarian Institute of Military Technology with a paper. In 2019, the IRS was held in the city of Ulm in cooperation with the Fraunhofer Institute for High Frequency Physics and Radar Techniques FHR and Hensoldt Holding GmbH. Figure 1 shows the time and location of the IRS conferences.

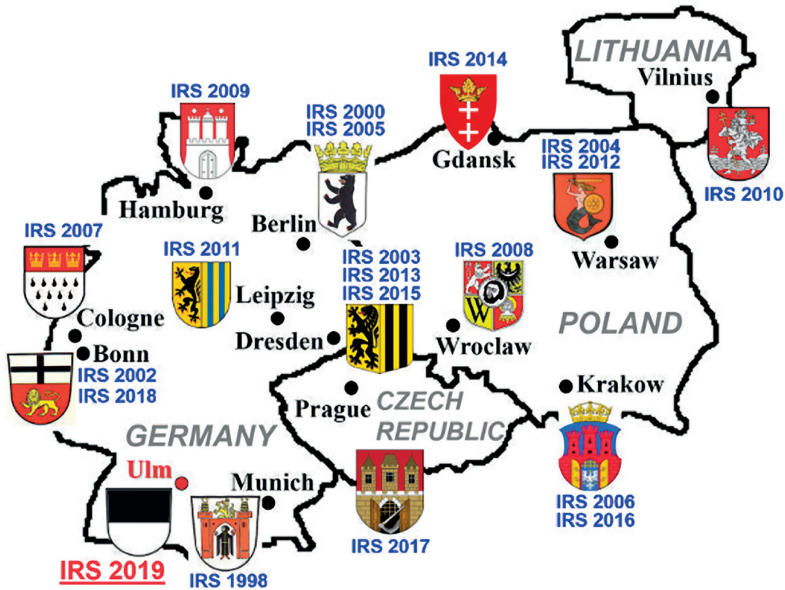


Figure 1.  
Map of International Radar Symposium (IRS) locations [2]

The invitation of Professor Peter Knott pointed out the fact that: "The International Radar Symposium aims to provide a forum for both academic and industrial professionals in radar from all over the world and to bring together academicians, researchers, engineers, system analysts, graduate and undergraduate students with government and non-government organizations to share and discuss both theoretical and practical knowledge" [1].

The keynote speakers were:

- R. Bil: *Radar Technology – Past, Present, Future*. Hensoldt Sensors GmbH, Germany. The key message of the speech was that: "Future radar systems featuring broadband capabilities are one of the most important requirements. They will rely on AESA antennas with their inertia-free beam steering and flexible scanning capabilities, their ability to adaptively set antenna patterns and their high reliability. The multifunctional RF-systems offering major operational advantages, even more so if they end up as Digital Software Defined Systems."
- M. Suess: *Current and Future Space Based Radar Missions and Systems of European Space Agency*. ESA, Germany. The presentation provided an overview of the Earth Observation programme developed by ESA.
- M. Eggers: *Military Radar Lifecycle Support*. NATO Support and Procurement Agency, Luxembourg. The presentation pointed out the fact that the Life Cycle of military Air Surveillance radar systems typically extends over 30 years. A sound approach to Life Cycle Management in the concept, procurement and in-service phase is fundamental to ensure operational availability, affordability and adaptability to evolving technology and capability requirements.

The author's findings in this article are subjective and focused on the main topics; those that might be of interest for the Hungarian readers are highlighted in italics:

- Radar, *Artificial Intelligence and Machine Learning*
- *Cognitive Radar/Recognition*
- *PCL Passive Radar: Fundamentals, Challenges, Future*
- Passive Radar Imaging
- Passive and Multi-Static Radar
- *Automotive Radar*
- *Drones*
- Polarimetric and Weather Radar
- Radar Propagation and Simulation
- *SAR and ISAR Techniques and Applications*
- Multi-Channel Digital Radar and SAR Systems
- *THz Sensing*
- *UWB and Noise Radar*
- *Low-Frequency/OTH Radar*
- *Radar Systems and Components*
- MIMO Radar/Beamforming
- Signal Processing
- Detection/Estimation
- Forward Scattering Radar
- Positioning, Direction Finding and Tracking

## Technical Matters of the Conference

Here follows an overview of presentations which are within our interest on the Symposium. Please note: Electromagnetic Spectrum Operations (EMSO) is the planning, coordination and management of the joint use of the electromagnetic spectrum: from 1 MHz to 1 THz; Infrared; and Optical.

### *Findings on passive radar systems*

The host Hensoldt Co. and the Fraunhofer FHR Institute were the most active in the introduction of new findings. M. Weiß presented the paper on *Aspects of Next Generation Sensor/Radar Networks* [3]. Figure 2 shows the topology of the centrally controlled two-way synchronisation principle. Normally, this synchronisation is carried out separately at each node by using a module linked to a stable local oscillator (STALO). This STALO can be disciplined to another time/frequency source to establish a synchronous network. However, as there is no feedback to the master node about the status of the synchronisation, *this approach can easily be jammed or interfered*. The proposed approach is to overcome this situation. This radar network consisting of distributed nodes which communicate via a highly efficient flexible communication network is described. It continuously monitors and adapts to changes in the time transfer quality and node-to-node baselines to maintain the *best possible coherence* at the time. In

the tight synchronisation between the nodes of the network in the sub-nanosecond range new signal processing approaches can be implemented enabling a distributed coherent range/ Doppler processing to extract more target parameters and characteristics for an improved target classification.

The detection performance and estimation accuracy of position and speed (Doppler) is improved and able to cope with an increased number of targets. The backbone for a distributed cognitive sensor/radar network is the communication and data flow among the nodes.

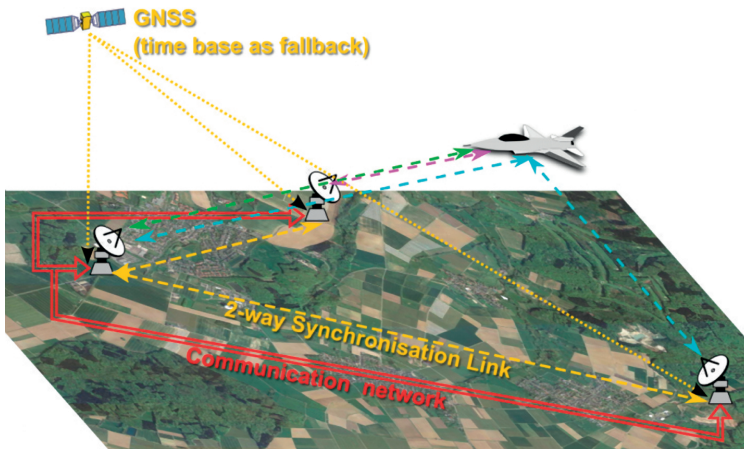


Figure 2.  
Topology of a distributed cognitive sensor/radar network [3]

Deep Learning techniques from the Big Data Analytic area employed during the data fusion stage allows to create a cognitive radar network as shown in Figure 3. After transferring the data to a central node, the fusion engine will be fed by feature extracted information gained from the pre-processing stages.

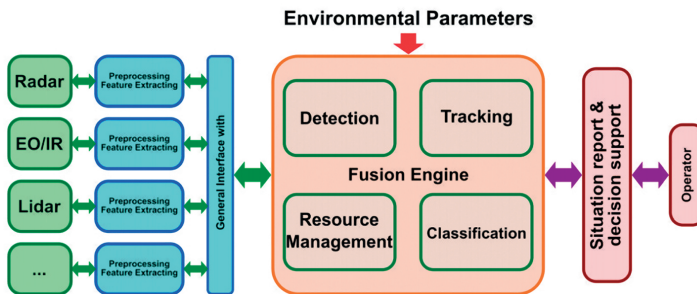
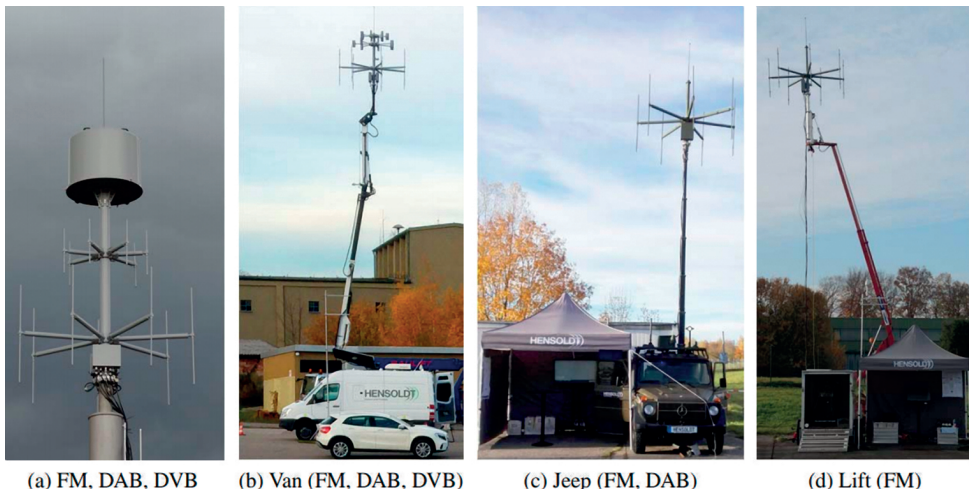


Figure 3.  
The data and fusion architecture of the sensor network [3]

A comprehensive paper was presented by V. Winkler and S. Lutz on *Large-Scale Passive Radar Cluster Operation* [4]. Hensoldt Co. has conducted a measurement campaign with four PR

stations. Figure 4 shows the PR stations for different broadcasting signals. The single sensors themselves have been enhanced with new receivers, software modes like DVB-T2 and network interface for exchanging target data, monitoring and control. The contribution and properties of the single sensor types can be presented next to the achievable coverage and accuracy of the global sensor fusion. Figure 5 displays Constellation Diagrams and Parameter for DAB, DVB-T and DVB-T2 coherent signal processing. Synchronisation in time for DVB-T can be performed by correlation with the pilot pattern over four symbols, which is the repetition interval of the scattered pilot pattern.



(a) FM, DAB, DVB (b) Van (FM, DAB, DVB) (c) Jeep (FM, DAB) (d) Lift (FM)

Figure 4. Stationer and mobile PRs for Large-Scale Cluster Operation [4]

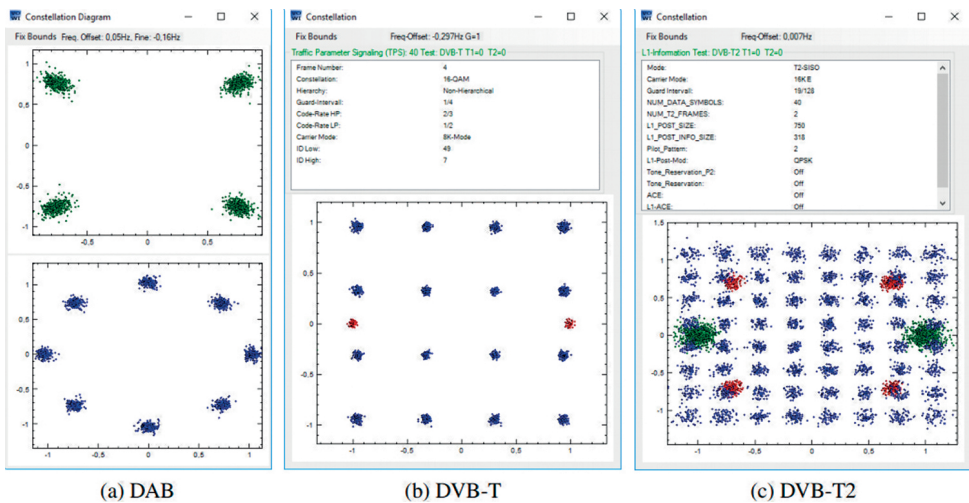


Figure 5. Constellation Diagrams and Parameter [4]

The experimental cluster operation has shown the scalability of the network and the possible performance gain due to sensor fusion.

The paper of K. Kulpa and M. Malanowski *From Klein Heidelberg to Modern Multistatic Passive Radar* presents the history of the PR, and the present stage of the development of the abovementioned technology in military and civilian applications [5]. Today, a typical application of PR is the detection and tracking of airborne targets, such as airliners or short-range surveillance, for example drone detection in the vicinity of an airport. Among many promising PR prototypes, one is the PET-PCL system, Figure 6, developed by the Polish company PIT-RADWAR, in cooperation with the Warsaw University of Technology and AM Technologies. A single node of the system is able to detect targets using FM, GSM and DVB-T transmitters as illuminators of opportunity, and can also track targets using a Passive Emitter Tracking (PET) subsystem using DOA and TDOA technology. The conclusion of the paper is that PR can be used effectively for micro-Doppler analyses and non-cooperative target recognition in military operations. This technology is not going to replace active radars; still, it is a good technology for gap-filling and for supporting classical radar sensors and extending their capabilities.



Figure 6.  
PIT-RADWAR's PET-PCL prototype radar [5]

The presentation of F. Santi, F. Pieralice, D. Pastina, M. Antoniou and M. Cherniakov *Passive radar imagery of ship targets by using navigation satellites transmitters of opportunity* draws attention to the advanced capabilities to the GNSS-based radar for maritime surveillance applications [6]. Figure 7 shows the experimental campaign geometry. The measurement results obtained with Galileo satellites demonstrate the effective possibility of the proposed approach to extract relevant features of ship targets of interest. A passive imaging mode has been defined to form bistatic ISAR images of the detected ship.

Real data analysis, involving a large ferry reflecting the signals transmitted by two Galileo satellites, confirmed the effectiveness of the defined processing scheme along with a proper mathematical framework aiming at evaluating the length of the detected vessels directly from the focused images.

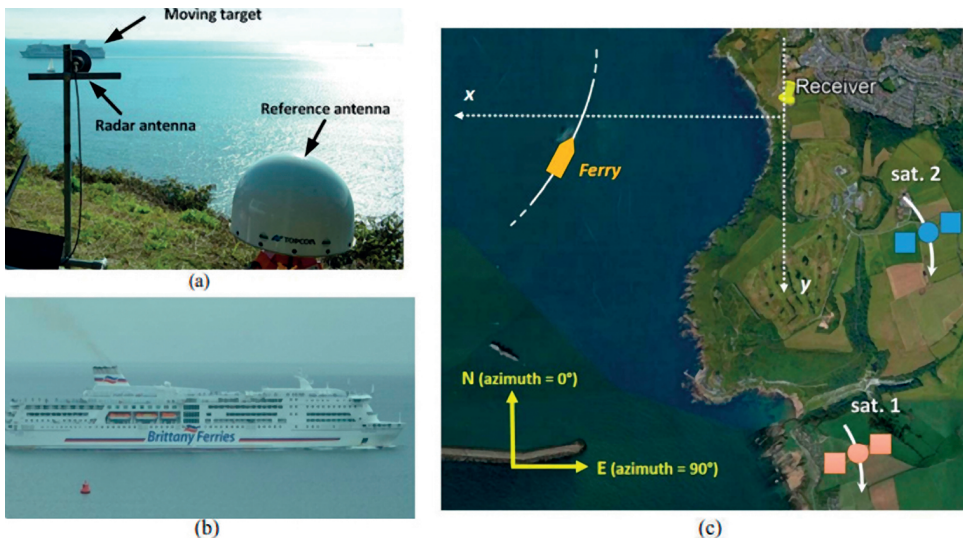


Figure 7.

Experimental campaign: (a) Experimental hardware (b) Target of opportunity (c) Acquisition geometry [6]

## Findings on drone-related systems

The paper of I. Norheim-Næss, E. Finden and K. Strøm *Passive Radar detection of small UAV over sea* summarises the findings of the trial over the Trondheim-fjord in Norway (autumn 2018), where a DVB-T based passive radar system was used for detecting a small unmanned aerial vehicle (UAV) [7]. Figure 8 shows where the UAV has been visible out to approximately 600 m bistatic range, with Doppler at +18 Hz at cruise speed outbounds, and more than -40 Hz full speed inbound. The strong multipath from the sea, with a single receiver channel, severely affect the radar performance, which could shorten detection distances. It could be mitigated by using two to three receiver channels at differing altitude, with the benefit of an additional gain of up to 6dB caused by the multipath.

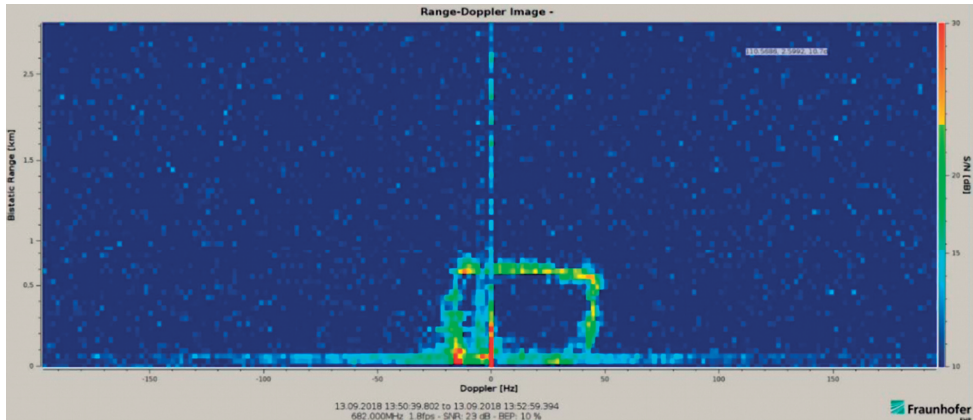


Figure 8.

Drone detection: Horizontal axis-Doppler in Hz, Vertical axis is bistatic range [7]

The paper on *Drone-features and their corresponding consequences for the design of a radar for drone-detection, tracking and classification* by A. Strecker covers the main radar performance defining events such as the micro drone features and corresponding radar requirements [8]. Hensoldt Co. sensors characterise different kinds of micro drones, for which the requirements of the radar's physical features are analysed. The conclusion is that the detection of small/micro drones with RCS of  $0.01 \text{ m}^2$  or blades with  $0.001 \text{ m}^2$  and flight dynamics is possible with PR, which has the following radar characteristics:

- High inherent system stability or sub clutter visibility of  $> 50\text{dB}$
- Operation in urban area  $> 60\text{dB}/70\text{dB}$  due to reflections of houses, fences, masts
- Very low system antenna sidelobes in azimuth  $> 40\text{dB}$  for good decoupling between other targets like traffic with higher RCS than the small drone
- Doppler high resolution, better than  $0.5\text{m/s}$  ( $1.8\text{km/h}$ ) for drone and clutter separation
- High update rate  $< 2\text{s}$  due to possible flight dynamic behaviour of drones
- Generation of 3D information of the drone for automatic master slave operation with an optical system

The following paper by F. X. Hofe *A New Algorithm for Automatic Radar Target Classification* applies feature extraction with special regard to drones, recognition of target-typical characteristics and features of the spectrum and of the cepstrum, derived from the time-signal [9]. The number of features can be steadily expanded for each of these target types, but also for other types of target (air targets such as gliders, airplanes and jet, as well as missiles and water targets such as swimmers, rowboats and motorboats). Thereby the reliability of the algorithm is successively increased further by having more and more features. Figure 9 shows only plots on the left, while the right part shows only tracks with bird- (in blue), drone- (in yellow) and "unknown"- (in white) classification.

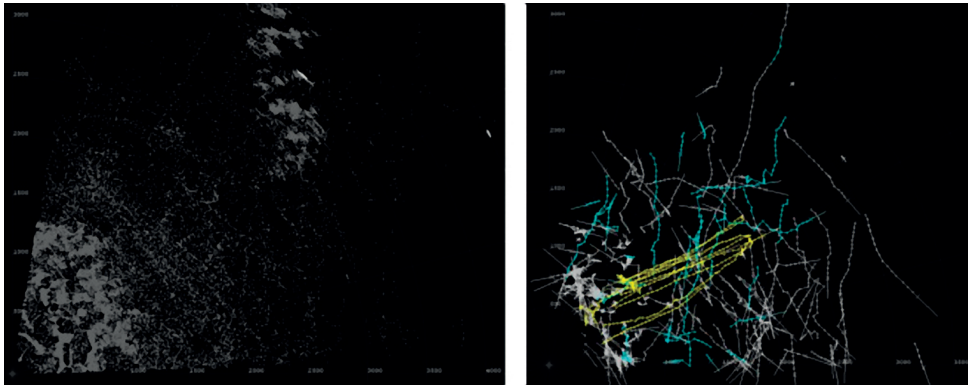


Figure 9.

*Operational results: Only plots (left), only classified tracks pictured (right) [9]*

The combination of the present method with classification models and their learning and training styles (techniques such as Classification Tree Method, K-Nearest-Neighbors Algorithm, Support Vector Machine, Ensemble Learning and Discriminant Analysis, etc.) further increase the reliability of the method. The method is further stabilised in the subsequent tracking and compared with the kinematics of the target. This further increases the probability of a correct classification.

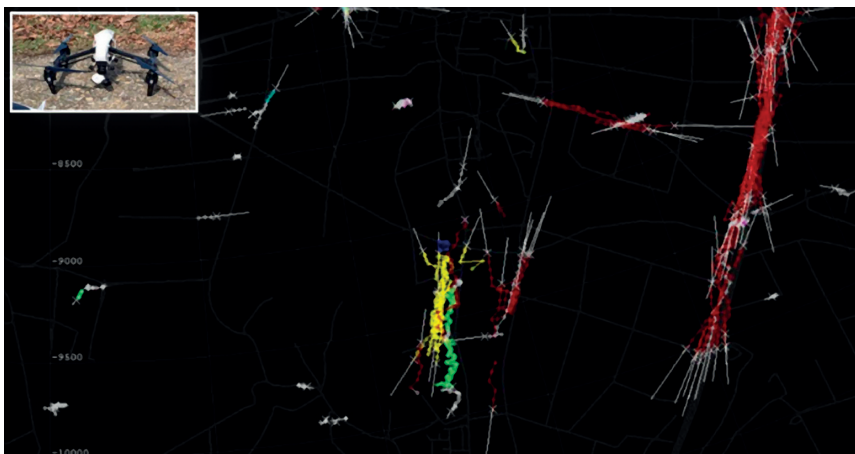


Figure 10.

*Operational results: UAV and pedestrian classified in 9.5 km [10]*

The next paper *Architecture and Operational Results of Feature Based Automatic Radar Target Classification* by A. Hanewinkel concludes the Hensoldt Co. drone detection related topics [10]. The article compares the advantages and shortcomings of FMCW and PULSE-Doppler technologies. The FMCW radar technology with their physical limit of sub-clutter-visibility, caused by mostly cheaper reference oscillators transmitting and receiving at the same time,

is increasing the noise and threshold in the upper Doppler bins. The pulse-Doppler variant benefits from the high decoupling between transmit and receive pulse, decoupling in angle by using multiple pencil beams and an extreme small phase noise level, creating a good sub-clutter-visibility. Figure 10 depicts the fact that the radar was able to classify without any third-party information a drone in 9.5 km by detecting the rotor blades.

The probability of correct spectral classification reduces the load of the operator on system level, and can give an adequate preselection for any effector. The algorithm itself is achieving a probability of correct classification  $> 90\%$ . This was verified with different scenarios as urban, forest, heterogeneous ground scenarios and was tested at different weather conditions (wind, rain, snow, etc.) as well. With the given architecture, the classifier can be easily expanded with new drone types and therefore spectra, as the market is still growing dramatically.

M. ScharTEL gave a talk on *Ground Penetrating Synthetic Aperture Radar (GPSAR)* that can be operated on an autonomous flying drone [11]. The SAR imaging results using a real time kinematic global navigation satellite system (RTK GNSS) and a total station for position acquisition are compared. Figure 11 shows the test system consisting of an RTK base station, a total station, and the drone. The drone is equipped with an RTK GNSS rover station, a  $360^\circ$ -prism, a single-board computer for data storage, and the bistatic FMCW SAR.

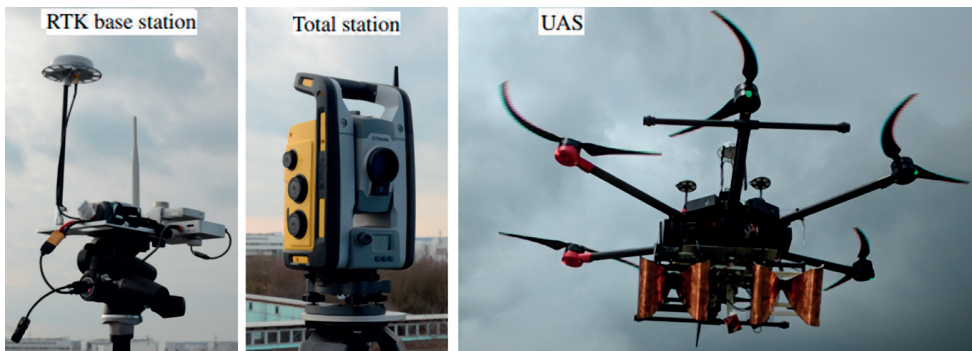


Figure 11.  
The proposed system components [11]



Figure 12.  
Photo of the measurement setup [11]

The systems are compared on the basis of the quality of SAR images using a simple test scenario shown in Figure 12 and realistic trajectories as shown in Figure 13.

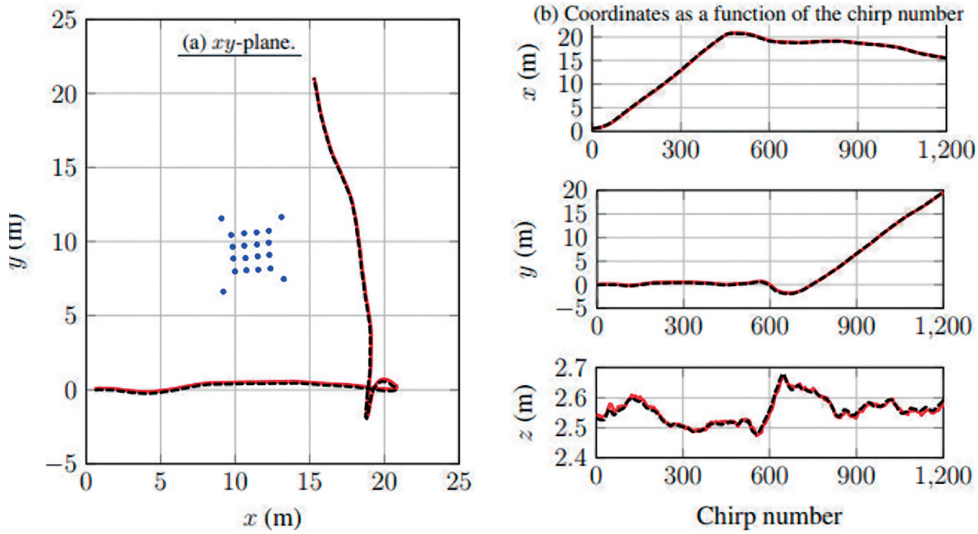


Figure 13.

Trajectory of the multicopter (L-shaped flight) measured with the RTK GNSS (—) and the total station (---). The positions of the reflectors are marked with (\*) [11]

After compensation the distance-dependent signal attenuation, the 12 single-look SAR images are combined by an incoherent addition as shown in Figure 14. The measurement result shows, that the total station solution outperforms the RTK GNSS solution in terms of signal-to-noise ratio by 10dB. The degraded image quality can be explained by the lower position accuracy of the RTK GNSS and mainly by time synchronisation errors.

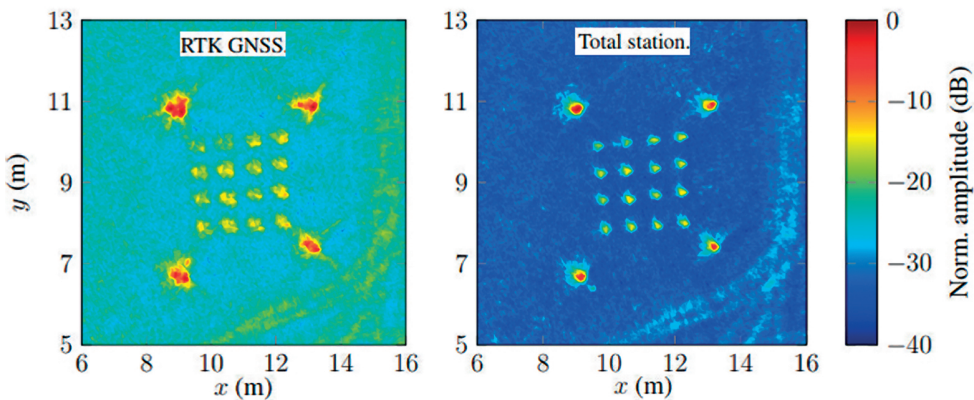


Figure 14.

Measurement setup and test trajectories [11]

C. Wasserzier, J. G. Worms, D. O'Hagan described a prototype system and experimental assessments of the measurement precision of *A Concept for Far Field Measurements of Large Dimension Antennas in an Open Area Test Site Performed by UAS* [12]. This paper introduces different applications of UAS in the broader context of the realisation of an open area test site such as Figure 15 and Figure 16 depict. Figure 15 shows that the drone flies around the antenna in different heights in order to achieve full beam patterns of distinct height sections.

The performed experiment proved a power link measurement with an error of 0.1dB which is proof of the presented concept. In general, the better the GPS accuracy is the more accurate is the measured power budget. Practical assessments underline the flexibility of a UAS based measurement setup, but also show the limitations in measurement accuracy.

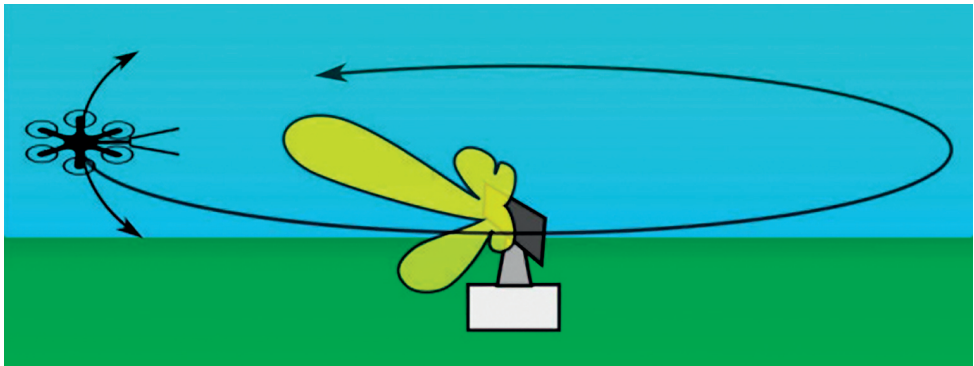


Figure 15.  
UAV measuring the beam pattern of an electronic scanning antenna [12]

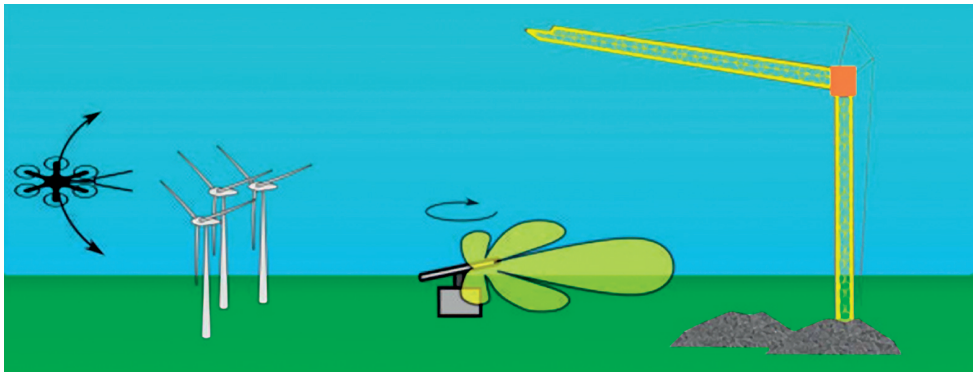


Figure 16.  
Determining the influence of permanent and temporary obstacles [12]

The feasibility and the benefits of a *Radio Frequency Sensor payload for Remotely Piloted Aerial Systems (RPAS) based on the Scalable Multi-Function RF System (SMRF)* concept has been demonstrated [13]. The European Defence Agency is aiming at developing an architecture for SMRF systems applying modularity, standardisation and Commercial Off-The-Shelf (COTS)

technologies to achieve flexibility in size, performance and functionality. The SMRF is the next generation of RF sensors that support simultaneous operation of several RF functions like Radar, Electronic Warfare (EW) and communication links. The objectives of this project were to analyse and assess the benefits of the employment of SMRF – as an example for a possible platform – in the field of a Medium Altitude Long Endurance (MALE) Remotely Piloted Aerial System (RPAS) and to gather the requirements for building a demonstrator for showcasing those benefits in a real environment. The RPAS has to provide the following different RF capabilities, as visualised in Figure 17.

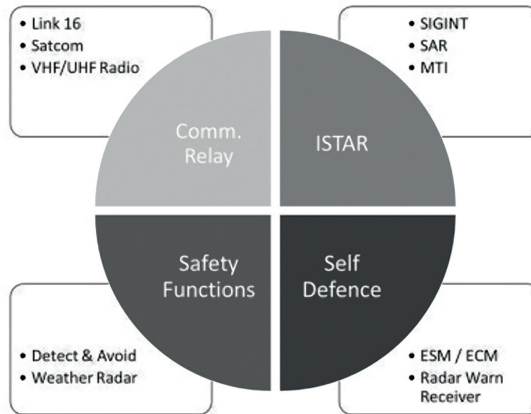


Figure 17. Functional areas to be covered by a SMRF sensor system [13]

There are three functional domains of the RF system operation, which can be distinguished, with respect to the corresponding RF modes such as Mission-related, Self-Defence (ECM) and Safety-related, as listed in Table 1.

Table 1. RF modes in different functional domains of a RPAS [13]

Mission-related	Self-Defence (ECM)	Safety-related
Synthetic Aperture Radar (SAR)	Stand-In Jamming	Sense and Avoid (S&A)
Spotlight-SAR (Spot SAR)	Deceptive Jamming	
Inverse SAR (ISAR)	Escort Jamming	Identification, Friend or Foe (IFF)
Moving Target Indication (MTI)	Cross-Eye Jamming	
Space Time Adaptive Processing (STAP)	Cross-Pol Jamming	
Real Beam Ground Mapping (RBGM)	Early Warning Receiver	Weather radar
Automatic Target Recognition (ATR)		
High Range Resolution (HRR)		
Electronic Counter Measures (ECM)		
Electronic and Communication Intelligence (ELINT and COMINT)		
Communication Relay		

The physical realisation of the demonstrator is envisaged to consist of a single face low-band AESA array; a single face high-band AESA array; an omnidirectional antenna; a single RF special application (self-defence) unit; and a high-performance processing unit.

Based on the technology tracks, a very rough order of magnitude (VROM) budget estimate has been made for the realisation of the SMRF demonstrator, including integration and testing on a relevant flying test bed.

M. Jahangir and C. J. Baker introduced *drone test flight results for non-cooperative surveillance using an L-band 3-D staring radar* [14]. The huge concern for the safe and secure operations of drones in the presence of manned aviation is an issue of major public interest. The Sky ATM Research (SESAR) Joint Undertaking programme is pursuing a range of projects that aim to develop the capability to enable complex drone operations with a high degree of automation. Aspects specific to Unmanned Traffic Management System (UTMS) that relate to ground-based technologies for a real-time unmanned aerial system traffic management system (UTMS) are being addressed within the CLASS (CLear Air Situation for uaS) project. Figure 18 summarises the CLASS system architecture used for real-time UTM.

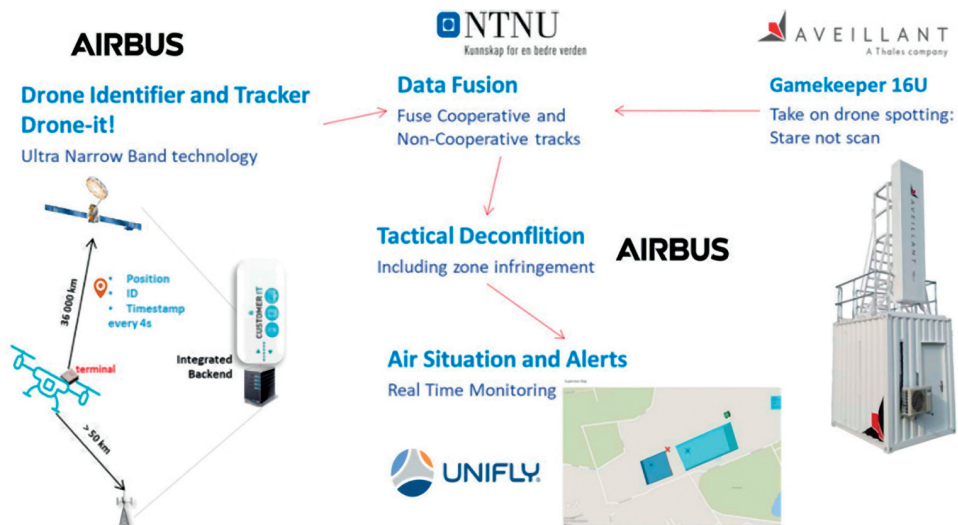


Figure 18. CLASS system architecture used for real-time UTM [14]

The set of Key Performance Indicators (KPI) defined to quantify the tracking aspect of the system such as Probability of Update (PU) is a value expressed in %, which is the ratio between true positive drone detections from tracker to total drone detections from reference, Mean Gap per track, False Positive Rate, Horizontal Position Error and Vertical Position Error. The proposed KPIs are open to discussion and alternative metrics like Single Integrated Air Picture (SIAP) may provide a more common basis for performance benchmarking. Machine learning on kinematic and Doppler features demonstrated a good illustration of discrimination between drone and non-drone categories. There is work in progress aiming at the expansion

of machine learning and testing it this against a wider set of operationally realist scenarios as depicted in Figure 19.

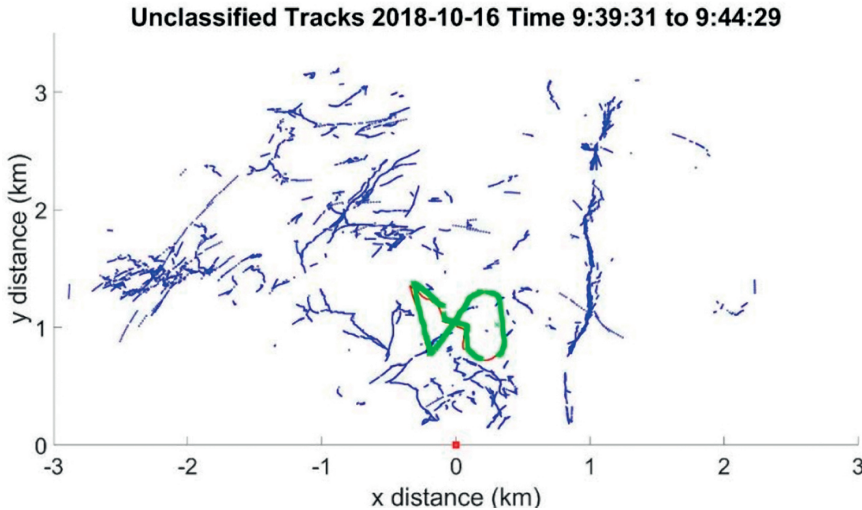


Figure 19.

*Gamekeeper radar tracks prior to classification for scenario Urban Pollution Sampling with DJI Inspire drone GPS truth is shown in red, radar tracks in blue and the one that matches the GPS truth is highlighted in green [14]*

## Findings on emerging technologies

The Italian authors introduce findings on the *target detection and localization capabilities of a coherent multiple input multiple output (MIMO) radar network* designed and implemented using *photonic technology* [15]. The benefit offered by photonics is twofold: it guarantees long-time phase stability and frequency/phase coherence between the transmitted and received radio frequency signals; secondly, it allows remoting the antennas by exploiting optical fibres.

The architecture of the Photonic Radar Network consists of a photonic core, a collocated acquisition system, and two radar heads (RHs) with one TX and one RX each, that can be opportunely remoted by means of optical fibres, as depicted in Figure 20. Note: DSP: Digital Signal Processing; ADC: Analog-to-Digital Converter; RF: Radio Frequency; LPF: Low-Pass Filter; E/O: Electro-Optical; OD: Optical Delay Line; O/E: Opto-Electrical; IF/BB: Intermediate Frequency/Base Band; BPF: Band-Pass Filter.

Figure 21 shows the geometry of the coherent photonics-based MIMO radar network and in-field experimental setup. The experiment is realised with a scaled-down geometry. However, the presence of a long spool of fibre (the OD in Figure 20) simulates a distance of about 1 km between the two RHs. In the following, the results will demonstrate the low attenuation and negligible phase distortion introduced by the fibre. Moreover, we can consider the network being characterised by widely distributed antennas, since the four channels are spatially de-correlated. Measurement results are depicted in Figure 22 (left) and 22 (right), respectively.

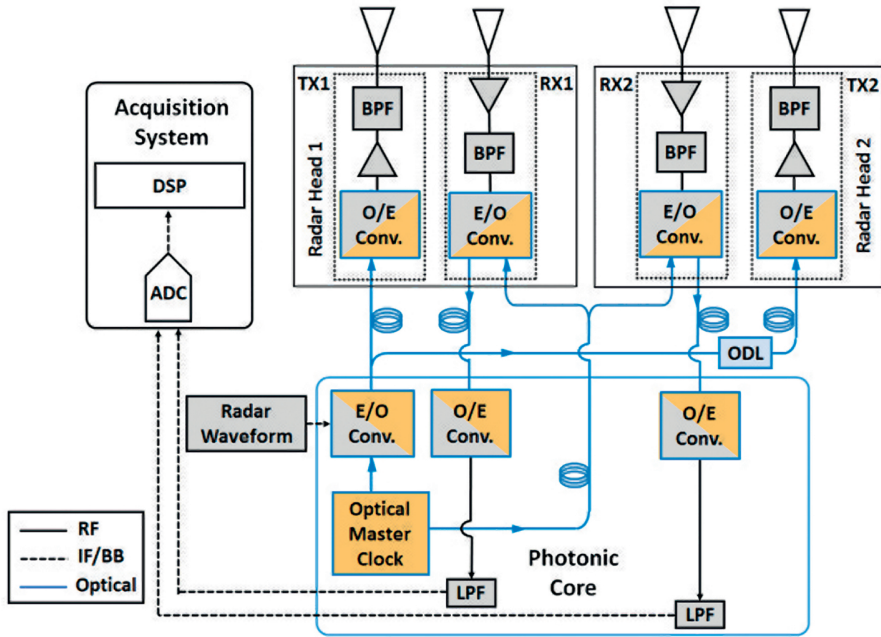


Figure 20. Architecture of the Photonic Radar Network [15]

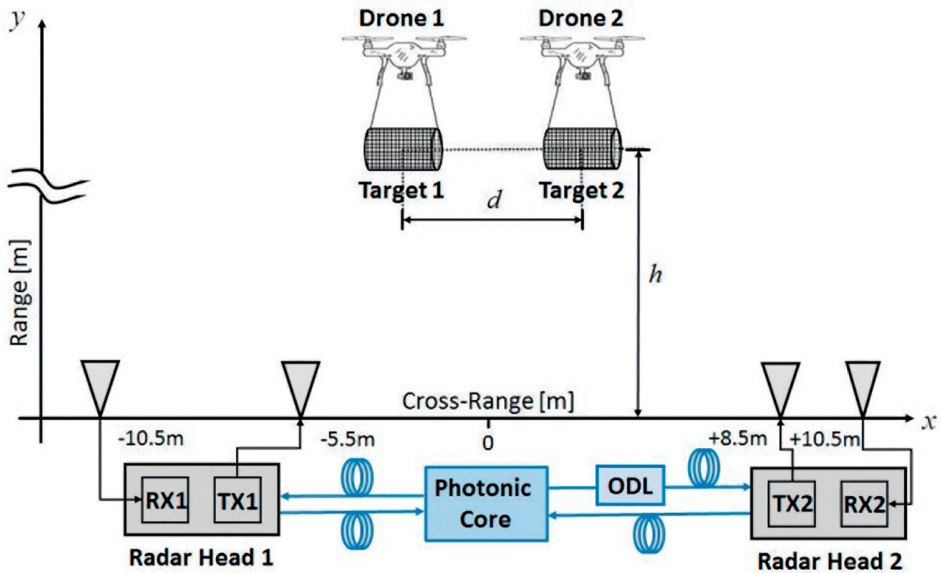


Figure 21. Geometry of the coherent photonics-based MIMO radar [15]

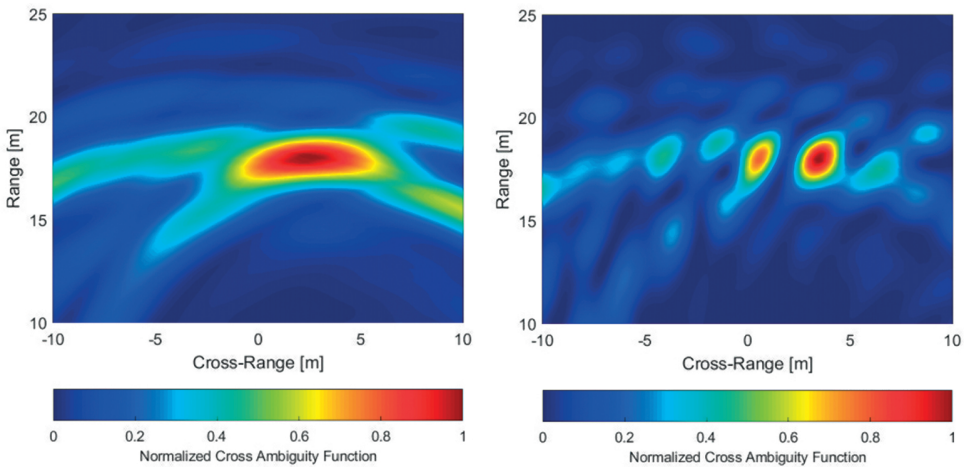


Figure 22.

*Non-coherent (left) vs. coherent MIMO images in the multi-target scenario [15]*

The results obtained confirm that photonics is an effective technology for coherent MIMO radars with widely distributed antennas. It has capability to preserve signal coherence among the TX and RX elements, while it grants large bandwidth long-range undistorted signal distribution over fibre.

Intradoses measurement results of the research in *Simultaneous Transmit and Receive (STAR) systems self-interference cancellation* support the usage of the radar and communication systems with higher spectral efficiency [16]. Conventional systems operate in a half-duplex mode, either transmitting and receiving at different times, over different frequency bands, or using other multiple access techniques. The most challenging obstacle for STAR systems is the self-interference cancellation ratio around 90dB. Self-interference cancellation techniques can be classified into three main categories: passive suppression, analogue cancellation and digital cancellation. Passive suppression aims at maximising the isolation between the transmit and receive antennas. Analogue cancellation aims at suppressing self-interference in the RF domain by combining the received signal with an appropriately scaled and phase-shifted copy of the transmit signal in order to cancel out the self-interference. Digital cancellation aims at removing any residual interference remaining after RF cancellation by using digital cancellation techniques such as ECA (Extensive Cancellation Algorithm makes use of the least squares estimator to minimise the filter residual) or CGLS (Conjugate Gradient Least Squares, which is an alternative to the least squares estimator).

The project demonstrates narrowband self-interference cancellation by using a multi-layer cancellation scheme comprising of passive suppression, RF cancellation and digital cancellation techniques. The demonstrator comprises of a multi-layer cancellation system built around WiFi antennas which operate at the 5.8 GHz ISM frequency band. The complete experimental system design is illustrated in Figure 23.

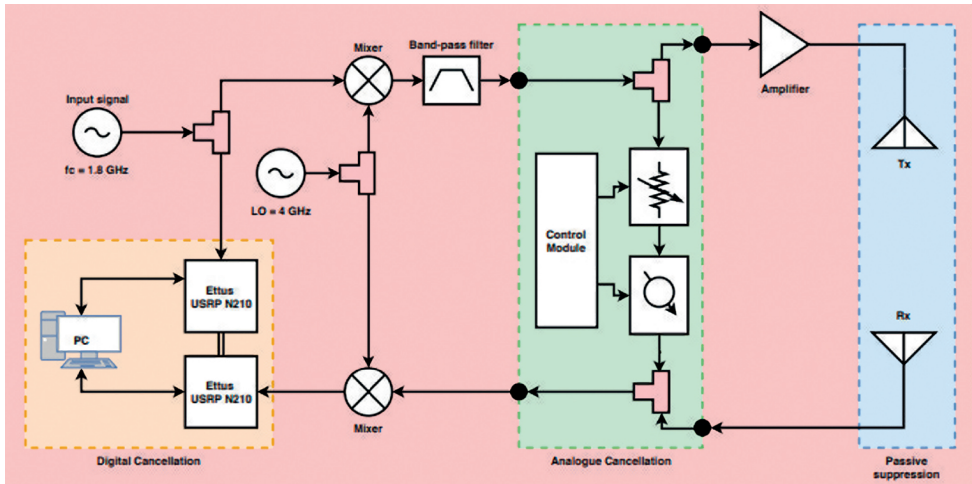


Figure 23.  
Experimental system design [16]

Experiments were carried out using a 4 MHz chirp transmit signal in order to quantify the performance of analogue and digital cancellation. The transmit-receive isolation was measured both in an anechoic chamber as well as in a multipath laboratory environment, and testing was done using both a single transmit antenna and the transmit antenna array. In an anechoic chamber, the single transmit antenna produced 44dB of isolation and the antenna array produced 57.5dB of isolation. The array showed an improvement in isolation of 22.1dB, from 29.4dB isolation (single transmit antenna) to 51.5dB isolation (transmit array) in realistic multipath environment. The results of the experiments carried out are presented in Figure 24. Digital cancellation was performed using both the CGLS method (a) and ECA method (b) for comparison. The normalised received signal after passive suppression is used as the benchmark to be able to quantify the analogue and digital cancellation performance. A total of 26dB of analogue cancellation was achieved. Digital cancellation produced 16 to 20dB of cancellation without analogue cancellation preceding it. Overall, 42 to 46dB of cancellation were achieved when combining the two cancellation techniques.

As a conclusion, the developed STAR demonstrator shows the potential of these cancellation techniques for use in STAR systems.

*An ultra-small antenna for UWB radars operating at frequencies from 1 to 9 GHz* was also proposed, which exploits a simple electrically short dipole printed on a PCB material with an integrated differential amplifier placed directly in the centre of the dipole [17].

The Smith chart of the  $S_{11}$  parameter simulations and measurement in the single-ended configuration is shown in Figure 25. The results from all design stages show that the inputs feature high impedance with capacitive behaviour at high frequencies. That is the desired feature for the amplifier to be used with electrically short UWB antennas, where resistive loading of the antenna should be eliminated. The mismatch between the post-layout simulation and the measured data may be caused by a relatively high parasitic resistance of the microprobe contact on the input port of the chip.

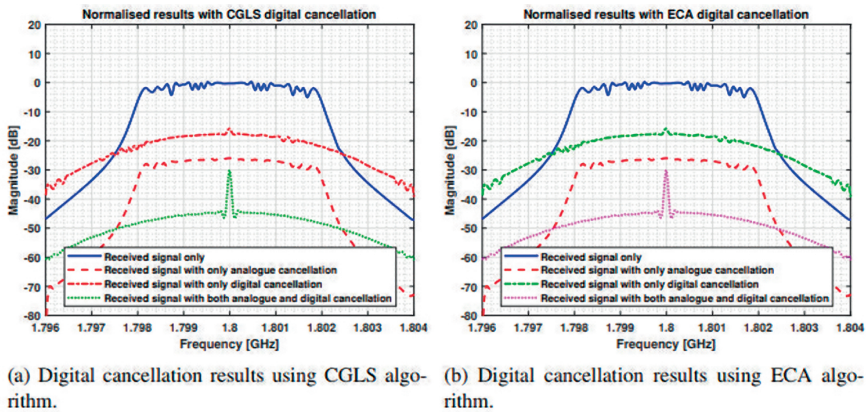


Figure 24.

Results of digital cancellation algorithms [16]

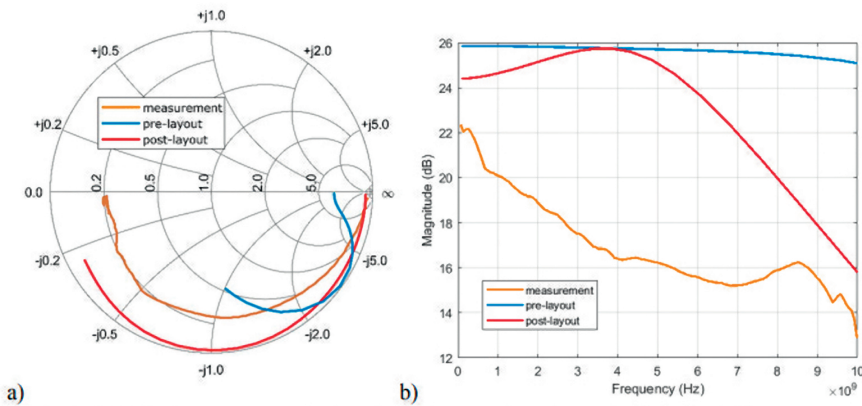


Figure 25.

Smith chart  $S_{11}$  and  $S_{21}$  of the amplifier performances [17]

The performance of the final antenna prototype was measured and compared to a professional antenna. From the results one can conclude that the antenna dimensions and weight, see Figure 25, has been successfully reduced by a factor greater than 10, while the characteristics of the antenna dropped by less than 10dB, dependent on frequency. The main advantages of the proposed antenna are small size, light weight and low production costs if high volumes are produced.

The proposed antenna is omnidirectional, which is a useful feature in short-range radar applications.

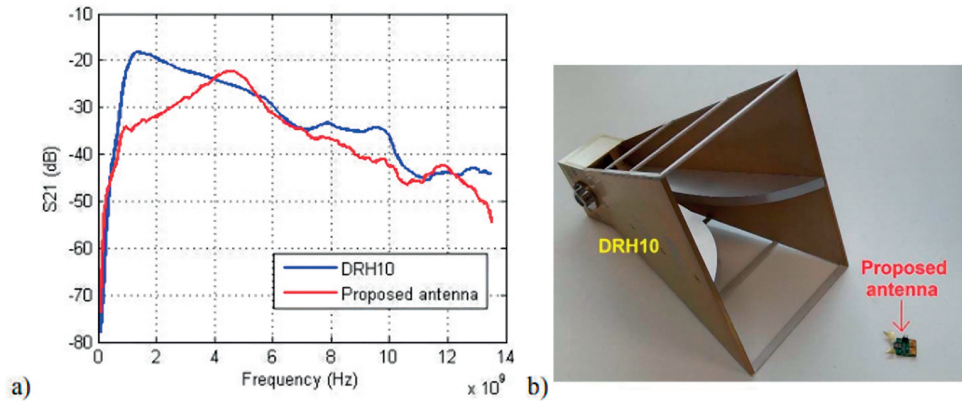


Figure 26

a) Transmission coefficient of the antenna (red) compared to the professional antenna (blue) b) comparison of dimensions of the measured antennas [17]

A methodology for image segmentation for path planning for low-THz short range radar images for automotive/autonomous platforms has been proposed [18]. The fundamental thought behind the choice of the methodology, utilising the high diffuse backscatter returns at low THz frequencies for segmentation, has been described. Operational Parameters of the prototype low-THz FMCW Radar are: Centre Frequency = 148 GHz, Bandwidth/Range Resolution = 6 GHz/2.5 cm, Antenna Beam Width = 1.5° (two-way), Power (into Antenna) = 15 mW (12 dBm), Modulation = Linear Up/Down Chirp, Chirp Duration = 1 ms. Figure 27 shows 150 GHz turntable mounted FMCW radar with fan beam antennas for real aperture scene imaging, while the right image shows a radar mounted on a vehicle alongside other experimental equipment.

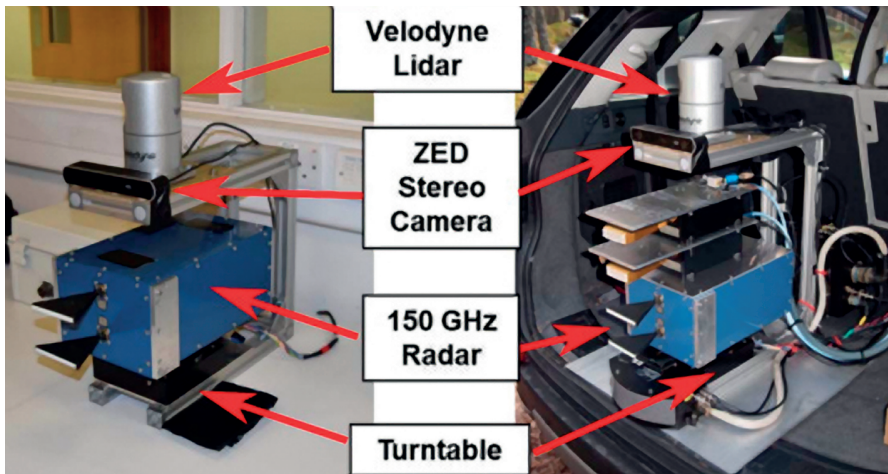


Figure 27.

The mounting structure of the 150 GHz turntable mounted FMCW radar [18]

The methodology has been tested on experimental low-THz radar imagery and shown excellent potential for image segmentation. Features in the segmented images have been discussed, such as segmented shadow regions and how they may inform path planning procedures. An example scene is shown in Figure 28, (a) showing camera and (b) low-THz radar imagery. Letters highlight image features: F–foliage, P–pedestrian, V–vehicle, O–obstruction (branch), T–track, G–gully; (water filled)-image normalised to image maxima.

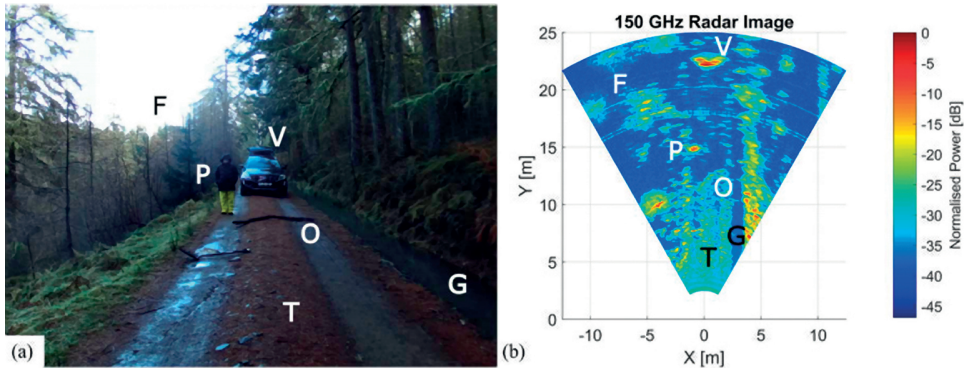


Figure 28. (a) Camera view (b) low-THz radar imagery [18]

The proposed technique combined with other complementary approaches will ultimately be used to classify road surface type from the imagery, which is planned for future study. Surface type identification from imagery will be fundamental for path planning and will also be used to inform existing vehicle technologies, such as the terrain response systems used to adapt vehicle settings when encountering different underlying surfaces.

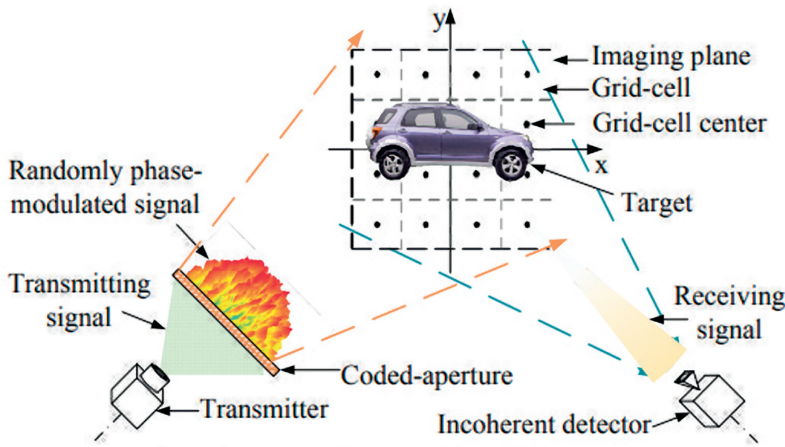


Figure 29. The architecture of the TCAI system [19]

The paper *Application of Phase Retrieval Algorithms in Terahertz Coded Aperture Imaging* demonstrates that the application of phase retrieval algorithm in the Terahertz Coded-Aperture Imaging (TCAI) system is feasible and it can obtain high quality images using only the intensity of echo signals [19]. Figure 29 shows the system architecture of the TCAI system: a transmitter, an incoherent detector, a coded-aperture antenna and a terminal control machine. The imaging plane in which the target is located is divided into several grids, and it is assumed that each strong scattering point of the target is just at the centre of the corresponding grid, which corresponds to a phase-less imaging equation.

The feasibility of adopting the phase retrieval algorithms to achieve phase-less imaging in the TCAI system is demonstrated, because the signals of the TCAI can be randomly distributed and uncorrelated in space. Figure 30 depicts the simulation results of the TCAI system based on phase retrieval algorithms: (a) The original image of target; (b) Imaging result of  $N/M = 10$ ; (c) Imaging result of  $N/M = 15$ ; (d) Imaging result of  $N/M = 20$ ; (e) Imaging result of  $N/M = 25$ ; (f) Imaging result of  $N/M = 30$ . The imaging quality is seriously affected by the ratio between the number of measurements and the number of grid cells.

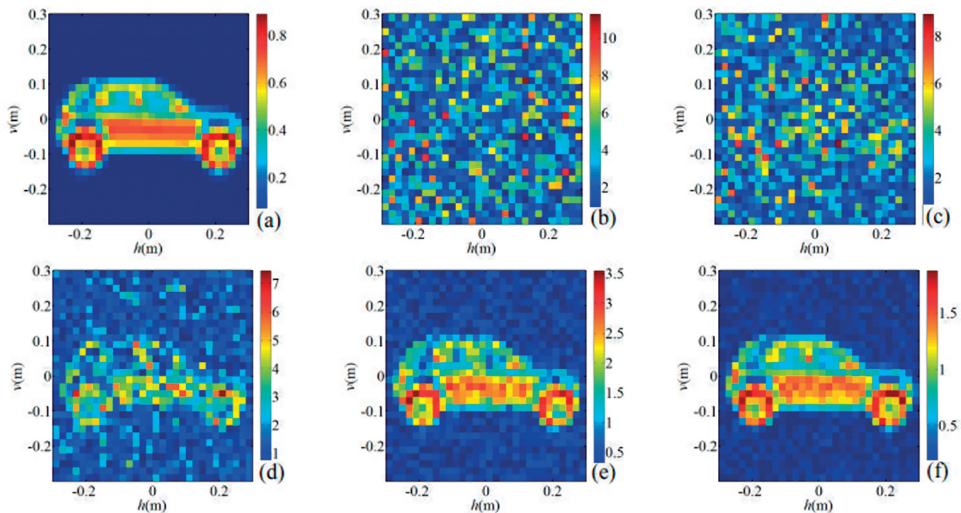


Figure 30.  
Simulation results of the TCAI system based on phase retrieval algorithms [19]

The simulation results show the potential of phase retrieval algorithm, which can use a single incoherent detector to realise the phase-less imaging of the TCAI system. Phase-less imaging methods provide a solution for systems that cannot accurately measure phase during reception such as automatic drive, security check, missile terminal guidance, etc.

The paper on *Trials of a Noise-Modulated Radar Demonstrator – First Results in a Marine Environment* describes the initial results which have a noise-limited sensitivity and antenna configuration similar to small conventional marine radar [20]. The importance of being able to control the dynamic range is highlighted. In this respect, the trials have demonstrated the effectiveness of new algorithms called Band Limited Algorithm for Sidelobes Attenuation (BLASA) tailored waveforms in order to improve the useful dynamic range of the radar. The

importance of being able to handle the effects of interference due to pulse radars operating in the same band is also illustrated. An important tactical benefit of Noise Radar Technology (NRT) is the ability to deliver an assured degree of Low Probability of Intercept (LPI), Low Probability of Identification (LPID) and Low Probability of Exploitation (LPE) performance which, because of the random nature of the waveforms, cannot be circumvented by present-day and future intercept receivers.

Figure 31 shows the block diagram of the demonstrator (left) and its physical arrangement (right). The radar was operated at a duty cycle of 33% ( $109\mu\text{s}$  signal repeated at 3 kHz rate) with mean power 12dBm, while the noise figure of the demonstrator was 4dB. The isolating plate improved the isolation between the transmit and receive antennas to 67dB, so the mean leakage power into the receiver is  $-55\text{dBm}$ . With a signal bandwidth of 50 MHz the time-bandwidth product of the waveform is 37dB so, with a random waveform, the range sidelobes of the direct leakage have an average value of  $-92\text{dBm}$ . The main novelty in BLASA is the ability to determine the number of lags to be suppressed after having considered the number of available unknown variables (i.e. samples) aimed at satisfying a given optimisation criterion for Tailored Noise Waveforms. A clear rationale for attenuating only a subset of the sidelobes (namely those between the mainlobe and a chosen lag) is the radar horizon, typical of marine, or coastal, radar applications.

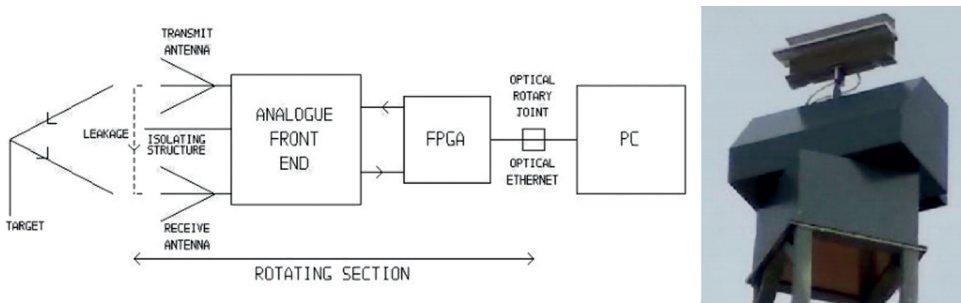


Figure 31.  
Simplified Block Diagram of the Software Defined Noise Radar [20]

Figure 32 shows a comparison between PPI images obtained with LFM chirp and band limited Gaussian noise waveforms. Targets observed on both scopes are shown in red circles.

As expected, the sensitivity of Noise Radar is currently limited by the range sidelobes of the direct leakage signal which conceals some of the targets that are visible on LFM chirp PPI image. Using an LFM waveform confirmed that there was extensive interference (observed as straight lines along range direction) present in the area from other radars in the same frequency band. In the PPI image obtained using noise waveforms, bursts of interference from pulse radars are not correlating with the noise radar's noise-like transmit signals at all, hence effects of interference are mitigated on the PPI image. Deeper analyses proved that the sidelobe level with the pure noise waveform is approximately 40dB below the direct leakage, in agreement with the time-bandwidth product of 37dB. The value of the BLASA waveform supports the belief that cancellation of the direct leakage will significantly enhance the sensitivity of the PPI images obtained with a pure noise waveform.

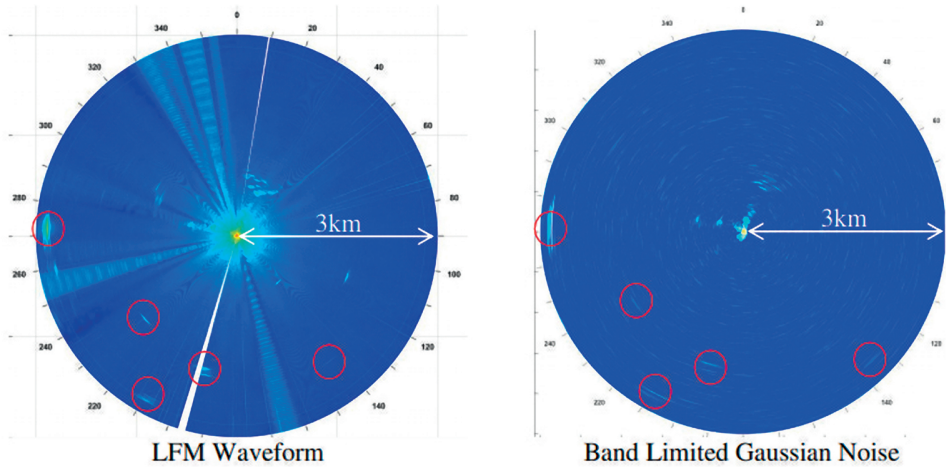


Figure 32.  
PPI images obtained with LFM chirp and BLASA waveforms [20]

Authors from Vietnam proposed *A Staggered PRF Coherent Integration for Resolving Range-Doppler Ambiguity in Pulse-Doppler Radar* [21]. Two staggered Pulse Repetition Frequencies (PRF) are used to extend blind Doppler frequency, as shown in Figure 33.

The principle of the coherent processing method for staggered PRF pulse-train applies butterfly algorithm of FFT-N points. The phase/time compensation algorithm is implemented for coherent integration of non-coherent pulse-trains. As a result, the Doppler frequencies of targets are determined as observed in Figure 34.

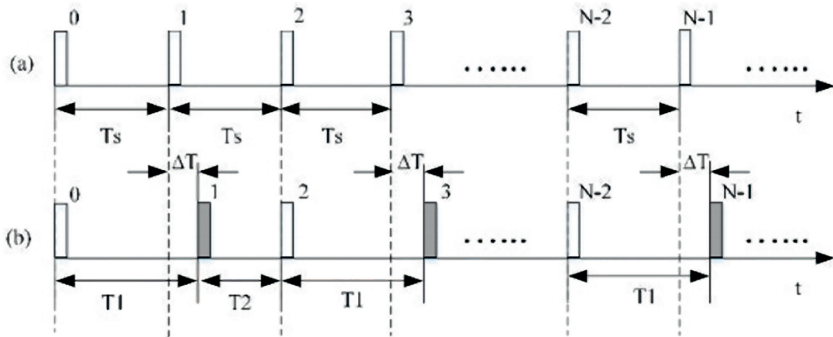


Figure 33.  
Transmission of constant PRF (a) and transmission of staggered PRF (b) [21]

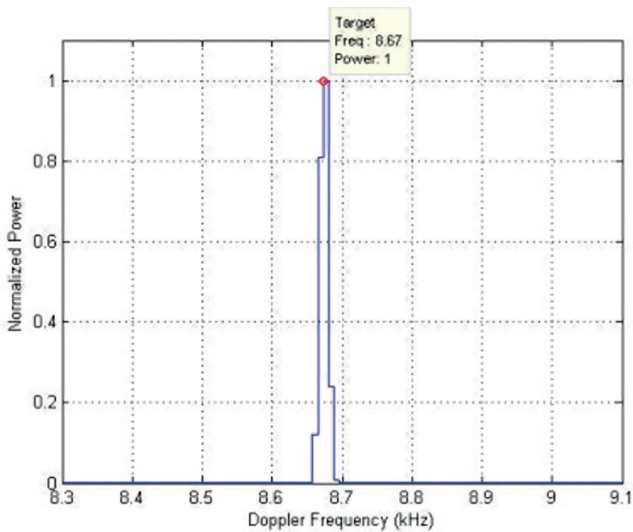


Figure 34.

Power-Doppler diagram of returned target signal (radical velocity is 1,000 m/s) [21]

## Findings on automotive radar

The next paper describes *inter-radar interference analysis of fast chirp FMCW radar* and proposes a concept of scalable fast chirp FMCW radar for automotive applications [22]. The inter-radar interference of automotive FMCW radars is an emerging problem for automotive radar applications in case of dense deployment. Figure 35 shows an example of wide band interference of a fast chirp FMCW radar where  $TU$  is up chirp time duration,  $TD$  is down chirp time duration and  $\Delta f$  is chirp frequency bandwidth. Either narrow band interference or wide band interference occurs when beat frequency caused by interference radar is lower than LPF (Low Pass Filter) bandwidth in FMCW radar,  $f_{LPF}$ . The observation is that fast chirp FMCW radars using different chirp rates interfere with each other and the desired signal power significantly decreases after wide band interference suppression, especially when the number of interference radars is large. The desired signal power is improved by the proposed concept of scalable fast chirp FMCW radar, where chirp direction alternates according to the chirp period; the peak power of the beat signal is decreased by interference suppression when  $N$  is large since the interference suppression is equivalent to ASK (Amplitude Shift Keying) modulation for the beat frequency signal. Evaluation results validate the proposed concept and can improve the performance degradation of fast chirp FMCW radar while meeting various design requirements.

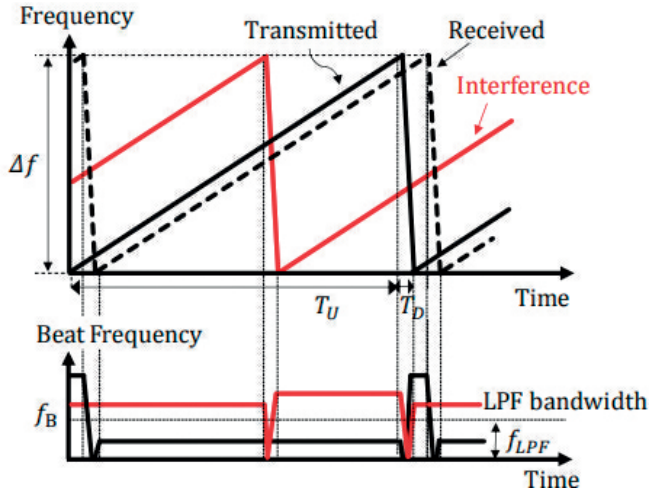


Figure 35. Wide band interference in fast chirp FMCW radar [22]

The aim of the article *Millimeter-wave Phased Antenna Array for Automotive Radar* is to consider the features of building a phased antenna array for automotive radar [23]. The proposed linear array is built on the basis of microstripe lines with the structure of the linear array consisting of 16 patches, as Figure 36 presents.

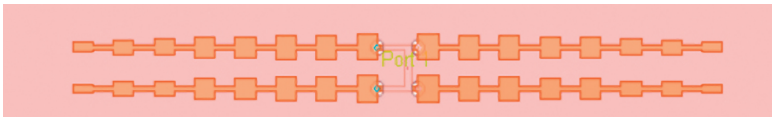


Figure 36. The model of the combined in pair of two linear arrays [23]

The structure of the entire phased antenna array, consisting of 16 sub-arrays described in Figure 36, and 2 pairs of transmitting columns is presented in Figure 37.

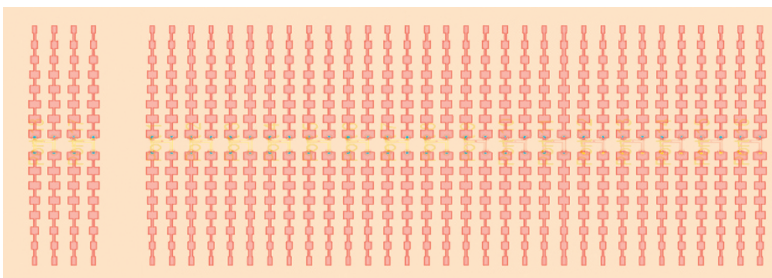


Figure 37. The phased antenna array structure of millimetre range [23]

Figure 38 shows the directivity pattern as a function of the azimuth angle  $\alpha$ , of the phased antenna array in H-plane (azimuth) (with a uniform weight distribution of signals in columns). The phased antenna array forms a directivity pattern with  $-20\text{dB}$  and  $-35\text{dB}$  sidelobe level in E and H plane respectively, and has a high gain of  $32\text{dB}$ .

The designed antenna has been used in the composition of automotive radar of millimetre range.

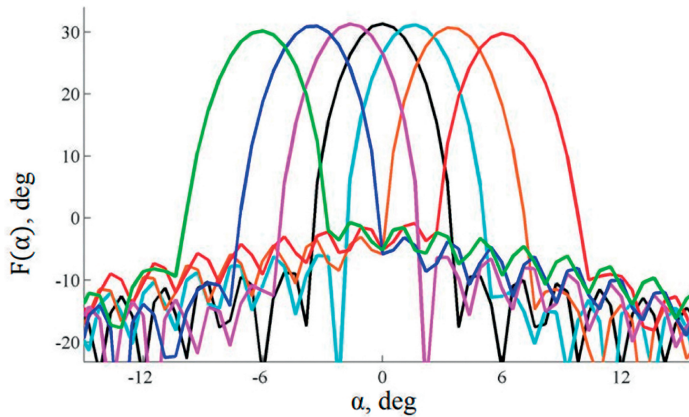


Figure 38. Measurement results of building vibration [23]

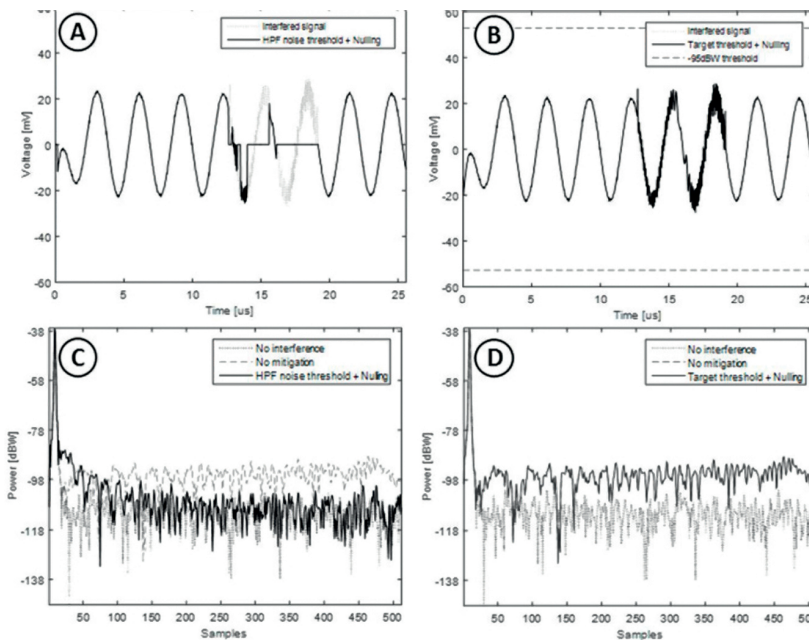


Figure 39. Comparison of the proposed and the conventional interference adaptive method [24]

Enhanced *Interference Detection Method in Automotive FMCW Radar System* has been presented in [24]. Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) radar to radar interference can cause severe dynamic range penalties in the radar receiver which lead to a reduction of the maximum detectable range, as well as sensitivity losses. State of the art FMCW to FMCW radar interference detection techniques are prone to miss weak interference. Though weak, this interference can still decrease sensitivity. A high pass filter can be applied before the first stage of range processing to reduce the contribution of the close and strong reflectors in the interference detection process. The situation where interference power is comparable to target power is analysed in Figure 39. Figure 39 A and B represent the timed domain interfered signal and the results of the nulling procedure. It can be observed that, in the case of the target threshold, the interference cannot be detected, and no mitigation process can be used. The result of the range profile is shown in Figure 39 D, where the noise floor after the target threshold-based detection and mitigation is equal to the one without any detection and mitigation. Figure 39 C shows, where the noise floor can be reduced, and the dynamic range restored.

The situation where interference power is larger than the target power is analysed in Figure 40. In this case, as can be seen in Figure 40 B, some interference components are above the target threshold and interference can also be detected using conventional methods. Therefore, nulling can be applied but a full dynamic range cannot be achieved (Figure 40 D). On the other hand, the mask obtained using the HPF can detect the interference pattern (Figure 40 A) and restore the noise floor (Figure 40 C). Some dynamic range losses are due to the losses in the compression gain after nulling the interfered samples.

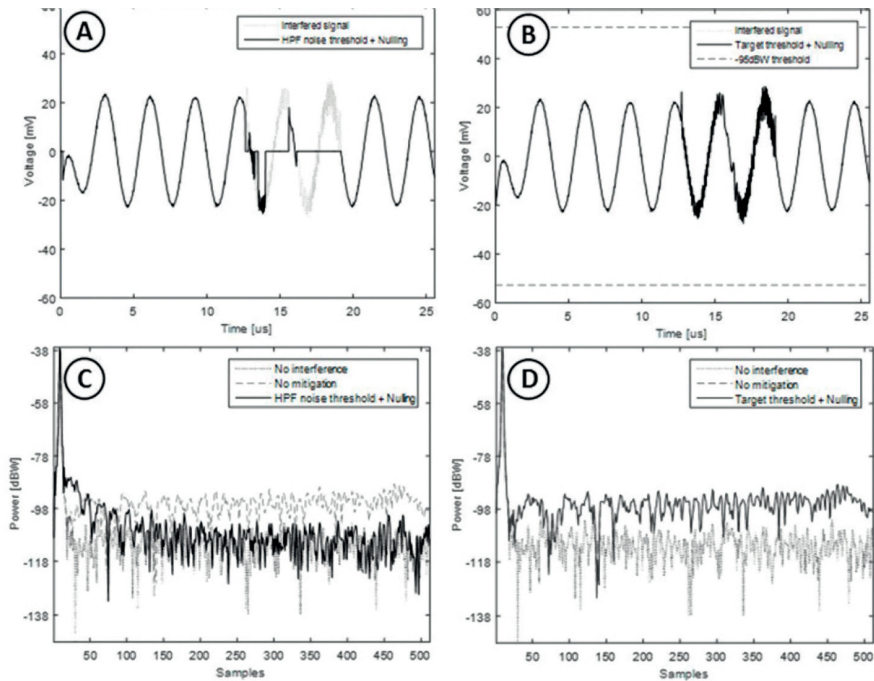


Figure 40.  
 Situation where interference power is comparable to target power [24]

A deep neural network can be successfully utilised for classifying several roadside objects in low THz radar imagery shown in Figure 41 [25]. The findings suggest that, by setting the right hyper-parameters and by carefully optimising the computational load and the format of the input data are the key requirements.

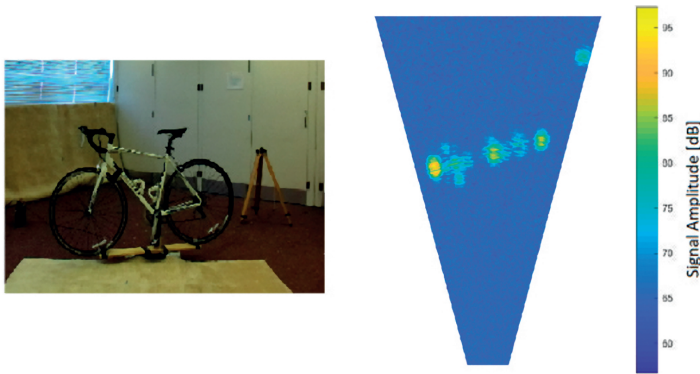


Figure 41. Optical image of a bicycle (left); corresponding radar image (right) [25]

The experiments involved reducing the image sizes and the depth of the images by converting the original RGB images with three dimensions into single dimension, grayscale images. It was found that, for this type of images, RGB images are more accurate than the grayscale ones and reduced size images with 110 x 110 pixels lessen the computational load of the model, without affecting the training and testing accuracies.

The findings, shown in Figure 42, confirm that deep neural networks are suitable approaches for low-THz imagery, due to the considerably high accuracy on testing dataset (98.78%) that was achieved throughout the project.

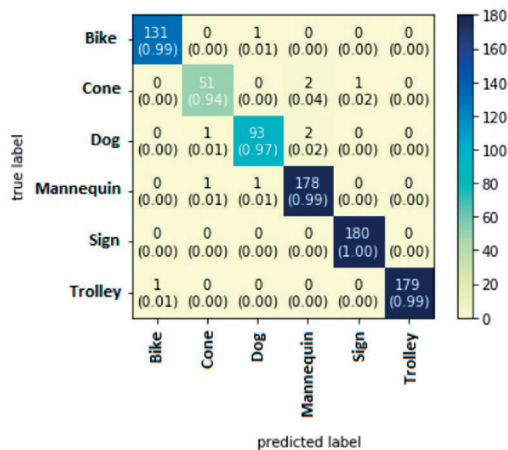


Figure 42. CNN confusion matrix [25]

## Conclusion

It is vital to note that the interest in modern radar node reliable synchronisation approaches and in situ performance tests are suitable for in situ performance testing and operation in interfered or jammed environment, which is increasing. The main objective of the Electronic Protection Measures (EMP) is to eliminate or to reduce the efficiency of the interferences produced in hostile environment. The EMP performance is critical from a radar engineering and operational standpoint. It is vital that the EPM performances are considered during the lifecycle of radars, initial requirements of the acquisition/validation, modernisations throughout in-service support, in order to ensure they continue to be fit for their missions in heavily interfered environment.

Obvious and well-known advantages of passive radars, with respect to their active (i.e. based on dedicated transmitters) counterparts are the low cost, the absence of own transmitters, making them totally 'green' and installable in places where heavy active radars cannot be located and the covertness. Furthermore, numerous transmitters for telecommunications, radio navigation, and remote sensing applications are foreseen as sources of opportunity for a wide variety of short- and long-range surveillance applications. It gives a solid platform for their civilian and military applications; therefore, their applications need improved attention.

Consequently, the findings related to emerging technologies or to deep neural networks that perform object classification for self-driving vehicles using electro-optical sensors have to maximise radar performance for the harsh operational conditions.

## References

- [1] "International Radar Symposium, 26–28 June 2019," Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. Available: [www.dgon-irs.org/en/home/](http://www.dgon-irs.org/en/home/) [Accessed Sept. 13, 2019].
- [2] "Conference Report 2019," Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. Available: [www.dgon-irs.org/en/conference/irs-history/report-2019/](http://www.dgon-irs.org/en/conference/irs-history/report-2019/) [Accessed Sept. 13, 2019].
- [3] M. Weiß, S. Sandenbergh, F. Valdes, P. Müller, D. Bok, M. Kohler, D. O'Hagan, and P. Knott, "Aspects of Next Generation Sensor/Radar Networks," Fraunhofer FHR, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768188>
- [4] V. Winkler and S. Lutz, "Large-Scale Passive Radar Cluster Operation," Hensoldt GmbH, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768151>
- [5] K. Kulpa and M. Malanowski, "From Klein Heidelberg to Modern Multistatic Passive Radar," Warsaw University of Technology, Poland, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768176>
- [6] F. Santi, F. Pieralice, D. Pastina, M. Antoniou, and M. Cherniakov, "Passive radar imagery of ship targets by using navigation satellites transmitters of opportunity," Sapienza University of Rome, Italy; University of Birmingham, U.K., Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768131>

- [7] I. Norheim-Næss, E. Finden and K. Strøm, "Passive Radar detection of small UAV over sea," Norwegian Defence Research Establishment, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768179>
- [8] A. Strecker, "Drone-features and their corresponding consequences for the design of a radar for drone-detection, tracking and classification," Hensoldt GmbH, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019.
- [9] F. X. Hofele, "A New Algorithm for Automatic Radar Target Classification Using Feature Extraction Having Special Regard to Drones," Hensoldt GmbH, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768116>
- [10] A. Hanewinkel, "Architecture and operational results of feature based automatic radar target classification," Hensoldt GmbH, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768189>
- [11] M. Schartel, R. Bahnemann, R. Burr, W. Mayer, and C. Waldschmidt, "Position Acquisition for a Multicopter-Based Synthetic Aperture Radar," Institute of Microwave Engineering, Ulm University, Germany; Autonomous Systems Lab, Zurich, Switzerland; Endress+Hauser SE+Co., Maulburg, Germany, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768172>
- [12] C. Wasserzier, J. G. Worms and D. O'Hagan, "A Concept for Far Field Measurements of Large Dimension Antennas in an Open Area Test Site Performed by UAS," Fraunhofer FHR, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768157>
- [13] R. Krebs, M. Andres and M. Bockmair, "A Modular and Scalable Architecture for RF Payloads on MALE RPAS," European Defence Agency; Hensoldt GmbH, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768166>
- [14] M. Jahangir and C. J. Baker, "CLASS U-space drone test flight results for non-cooperative surveillance using an L-band 3-D staring radar," Aveillant, A Thales Company; University of Birmingham, U.K., Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768155>
- [15] S. Maresca, G. Serafino, F. Scotti, F. Amato, L. Lembo, A. Bogoni, and P. Ghelfi, "Photonics for Coherent MIMO Radar: An Experimental Multi-Target Surveillance Scenario," TeCIP Institute, Pisa; PNTLab, Pisa; Vallauri Institute, Livorno, Italy, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768096>
- [16] A. Parker, F. Schonken, and D. O'Hagan, "Self-interference Cancellation for Simultaneous Transmit and Receive Applications," University of Cape Town, Cape Town, South Africa, Fraunhofer FHR, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768163>
- [17] M. Pecovsky, M. Sokol, S. Slovak, and P. Galajda, "Miniaturized UWB Radar Receiving Antenna with Integrated Cherry-Hooper Amplifier," Technical University of Košice, Košice, Slovakia, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768098>
- [18] L. Daniel, D. Phippen, E. Hoare, M. Cherniakov, and M. Gashinova, "Image Segmentation in Real Aperture Low-THz Radar Images," University of Birmingham Birmingham, U.K., Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768106>

- [19] L. Peng, C. Luo, H. Wang, Y. Cheng, Q. Yang, and K. Liu, "Application of Phase Retrieval Algorithms in Terahertz Coded Aperture Imaging," National University of Defense Technology, Changsha, China, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768124>
- [20] K. Savci, A. G. Stove, A. Y. Erdogan, G. Galati, K. A. Lukin, G. Pavan and C. Wasserzler, "Trials of a Noise-Modulated Radar Demonstrator – First Results in a Marine Environment," Turkish Naval Research Center Command, Pendik/Istanbul, Turkey; Vergata University, Rome, Italy; IRE NASU, Kharkov, Ukraine; University of Birmingham, Birmingham, UK; Fraunhofer FHR, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768194>
- [21] V. V. Tien, T. V. Hop, N. Nhu, D. X. Hoang and N. V. Loi, "A Staggered PRF Coherent Integration for Resolving Range-Doppler Ambiguity in Pulse-Doppler Radar," Radar Center, Viettel High Technology Industries Corporation Hanoi, Vietnam, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/IRS.2019.8768110>
- [22] M. Umehira, Y. Makino, T. Okuda, X. Wang, S. Takeda, and H. Kuroda, "Inter-Radar Interference Analysis and Concept of Scalable Fast Chirp FMCW Radar for Automotive Applications," Ibaraki University & Hitachi Automotive Systems, Japan, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768092>
- [23] S. A. Shabalín, A. V. Myakinkov, A. A. Kuzin and A. G. Ryndyk, "Millimeter-wave Phased Antenna Array for Automotive Radar," State Technical University of Nizhny Novgorod, Russia, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768182>
- [24] F. Laghezza, F. Jansen and J. Overvest, "Enhanced Interference Detection Method in Automotive FMCW Radar Systems," NXP Semiconductors, Eindhoven, The Netherlands, Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8767459>
- [25] A. Stroescu, M. Cherniakov, and M. Gashinova, "Classification of High Resolution Automotive Radar Imagery for Autonomous Driving Based on Deep Neural Networks," University of Birmingham, U.K., Proceedings of the International Radar Symposium (IRS), 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/irs.2019.8768156>

## ÁTTEKINTÉS A 2019-ES NEMZETKÖZI RADAR SZIMPÓZIUM LEGJOBB CIKKEIRŐL, ULM, NÉMETORSZÁG

*Napjainkban az interferenciaszűrés vagy -csökkentés fontos szerepet játszik a fejlett radartechnológia hatékony használatában. A cikk azokra a szimpóziumi előadásokra fókuszál, amelyek kapcsolatosak a radarrendszerek elektromágneses spektrumban való üzemelés (EMSO) problematikájával. A Magyar Honvédség korszerűsítése, a Zrínyi 2026 sikere, alapvetően az új technológiák megértésén és professzionális élettartamra szóló kiszolgálásán múlik. Polgári alkalmazásokban az autókban üzemelő radarok egymás zavarásának problematikája olyan új kihívás, amely elterjedésükkel tovább nő. Következésképpen kiemelten fontos feladat összegyűjteni, értékelni*

és átültetni a gyakorlatba az új technológiákkal kapcsolatos fejlett kutatási megállapításokat és fogalmakat. Megállapítható, hogy olyan folyamatosan jelen lévő mérnöki/tudományos elvárásokat kell alkalmazni, amelyek nyomon követik és maximalizálják a radar teljesítményét, és támogatják a biztonsági elvárásokat, EMSO-körülmények közötti üzemeltetését. A cikkben a radarokkal kapcsolatos legfrissebb eredményeket foglaljuk össze, figyelembe véve a hazai elvárásokat.

**Kulcsszavak:** rádiólokátor, aktív zavarás/zavarvédelem, Passzív Radar (PR), bi- és multistatikus radarrendszerek, kognitív rádiólokátor

---

Balajti István  
külsős tanár  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
[balajti.istvan@uni-nke.hu](mailto:balajti.istvan@uni-nke.hu)  
<https://orcid.org/0000-0003-3566-2904>

István Balajti  
visiting lecturer  
Doctoral School of Military Sciences  
National University of Public Service  
[balajti.istvan@uni-nke.hu](mailto:balajti.istvan@uni-nke.hu)  
<https://orcid.org/0000-0003-3566-2904>

---



VÁKÁT OLDAL

Tamás Bali

## Questions on the Hungarian Helicopter Force Transformation

*For more than a half a century, the Hungarian Defence Forces have been using helicopters designed and built in the former Soviet Union. Naturally, operators have gained a lot of experience over the decades, but the whole system has also anchored the pilot training system and maintenance method. Now that the government has decided to procure new western designed helicopters, all of these must be left behind. The Hungarian operators need to learn that new operating philosophy which will definitely pose many challenges toward the pilots and maintainers. In this study, I would like to point out these challenges.*

**Keywords:** helicopter, helicopter force, pilot, transformation, maintenance

### Introduction

It has been 69 years since the Hungarian Defence Forces have been using rotary-winged air assets to support mainly the land forces' operations and related trainings. Apart from the home defence tasks related to land force, helicopters have been utilised to provide search and rescue capability both for the Air force and – in line with the International Civil Aviation Organization Chicago Convention Annex 12 [1] – for the private and commercial actors of the civilian air traffic.

Having been a post Warsaw Pact<sup>1</sup> country, Hungary has had many products of a former Soviet helicopter design bureau, from the Mi-1 light utility-, to the Mi-24 attack helicopters. This year, we commemorate the 50<sup>th</sup> anniversary of the Mi-8 transport helicopters in our service. Even though we plan to fly with our Russian RW assets a few more years, we must admit that the helicopter force is ripe for change.

Former Defence Minister István Simicskó announced the defence and military forces development programme called Zrínyi 2026 on 22 December 2016, in which he aimed to place

---

<sup>1</sup> The Warsaw Pact, formally known as the Treaty of Friendship, Cooperation and Mutual Assistance, was a collective defence treaty signed in Warsaw (Poland) among the Soviet Union and seven Soviet satellite states of Central and Eastern Europe in May 1955, during the Cold War. The Warsaw Pact was the military complement to the Council for Mutual Economic Assistance, the regional economic organisation for the socialist states of Central and Eastern Europe. The Warsaw Pact was created in reaction to the integration of West Germany into NATO in 1955 per the London and Paris Conferences of 1954, but it is also considered that it was motivated by Soviet desires to maintain control over military forces in Central and Eastern Europe. The Warsaw Pact was established as a balance of power or counterweight to NATO [2].

the Hungarian Defence Forces on an upward course by virtue of the availability of additional funds and the implementation of armament developments. Among the plans of this complex programme, there is a reinforcement of the Air force by the procurement of new helicopters. Under the umbrella of Zrínyi 2026 development programme, contracts were signed to implement 20 H145M and 16 H225M helicopters<sup>2</sup> into the Hungarian military service. These Airbus assets will bring such a new era into the life of the Hungarian helicopter community, which will change the pilot attitude to flying and even the whole maintenance philosophy.

It is not going to be a new phenomenon at the Air force, since its fixed-winged force transformation has started in 2006 with the lease of the Jas-39 Gripens and the procurement of the Airbus A319s and Falcon 7Xs, but a giant leap for the helicopter arm. Now, we are facing a definitely challenging period to convert our pilot training and maintenance methodology to meet the expectation to create a modern and powerful force.

## RW Pilot Skill Transformation

Writing this section, I plan to represent some of the challenges, which are ahead of our helicopter pilots. These are basically because of the technical limitations of our old Russian helicopters and inherited RW deployment philosophy and related training methods.

During the Cold war era, quantity came into view against quality. This does not mean that we were not trained sufficiently, it was only a matter of tactics, technics and procedures.

Undoubtedly, the Soviet Union won World War II with the use of their heavy artillery and ample infantry. The cooperation of these arms could destroy even the strongest enemy. The tactics they used is built on the theory called "Deep operation" developed by Vladimir Kiriakovitch Triandafillov<sup>3</sup> during the 1920s and 1930s. The maintenance of the offensive, the increase of tempo in the conduct of combat, the use of overwhelming firepower and penetration into the depth of enemy territory became the core premises of the Soviet military philosophy. According to the theory, the infantry is working with heavy artillery to break through the enemy's possibly fortified forward positions, thus allowing the mobile troops to exploit the breach to penetrate the enemy's defensive positions and destroy rear support and service units and ultimately lines of communication. It is necessary to emphasise that destroying, suppressing or disorganising enemy forces must be carried out not only at the line of contact, but throughout the depth of the battlefield [3].

Being confident with the effectiveness of this tactics, the Soviets built all of their RW training syllabus in the post-war era onto this manoeuvre- and mobility-wise theory. But what is needed to grant high mobility and manoeuvrability for such an enormous force? It is unquestionably the number of the helicopters capable of participating in the combatant activities. They created a helicopter training manual, which reflected a step-by-step training method from that of a co-pilot to the main goal of a multi-ship training. Since these training methods were forced to be implemented in the armies of the Warsaw Pact allied nations,

<sup>2</sup> The contracts were signed for H145M on 29 June 2018 and for H225M on 17 December 2018.

<sup>3</sup> Vladimir Kiriakovitch Triandafillov (14 March 1894 – 12 July 1931) was a Soviet military commander and theoretician. Vladimir Triandafillov was the author of two fundamental military doctrine works: *Scale of the Operations of Modern Armies*, published in 1926 and *Characteristics of the Operations of the Modern Armies*, published in 1929. In these two works, he elaborated his deep operations theory about the future warfare.

it is also echoed in our (and still recent) training manual [4]. As a result of our training, the Hungarian RW assets were supposed to be used at least on squadron, but preferably on wing level (flight formation of a wing!).

The disadvantage of this multi-ship operation method with around 30 helicopters included was that self-defence became a low-priority issue. Due to the high numbers, everybody and everything became replaceable.

For this very reason, the soviet helicopter designers did not plan, for example, any active or passive self-defence systems to be installed onto the transport helicopters. Only the attack helicopters (considering the Mi-24 versions) had the EVU-type heat dissipater as a passive, ACO-2V flare and COEP-V1A infra-jammer as an active defence device. As a self-defence strategy, only evasive manoeuvring remained for our community.

It was an identical situation in 2006, when the Jas-39 Gripen got into our service as a replacement of the MiG-29s. At that time, our fighter pilots were trained to accomplish dogfights, while the modern fighter tactics were built on highly sensitive radars and long-range missiles. Although our pilots were perfectly trained, they could not get involved in any combatant activity, due to the technical and related training limitations.

However, the recent RW warfare focuses on two- or maximum four-ship air raids, where using sophisticated weaponry and self-defence devices alongside are the musts; now we are in the position to carry out extensive multi-ship RW operations, but we do not have the knowledge and experience on self-defence. Considering the human factor, we have to improve on these fields in order to successfully fulfil RW force transformation in the future.

Another challenge is to transform our instrument flight rules (hereinafter: IFR) proficiencies. Let me draw again a historic picture on the Russian way of thinking on IFR flights. The focal point in the theory is: There is no possibility to station fix markers on the hostile operational area. It is impossible due to the high threat level, moreover, it is useless since the force is advancing. If there is a need to support IFR flight, a single mobile non-directional beacon (hereinafter: NDB) must periodically serve it. The focus is on the flights under degraded visual conditions. Evidently, the Hungarian IFR flight training, all of our IFR approach procedures were designed to use only one NDB<sup>4</sup> [4].

If we strictly assess the present conditions of asymmetric warfare, we cannot speak more about advancing and retreating forces. Nowadays, the forces are stationed on Forward Operating Bases (hereinafter: FOB) and are deployed in the vicinity of each other. These strongholds are well defended, so there are possibilities to set VHF Omni-Directional Range/ Instrument Landing System (hereinafter: VOR/ILS) IFR navigation aids in their perimeter.

Although I personally believe, that helicopters are not effective war-tools under instrument meteorological conditions, and they should not be flown IFR but DVE, I have to accept that – as an emergency procedure – our pilots must be trained to use VOR/ILS systems. From my point of view, it is an emergency since it is not normal to have a helicopter flying a standard IFR approach relatively low and slow under ground-to-air threat. The training is only needed to an extent to support a landing when a helicopter accidentally gets into a cloud while flying DVE. Anyway, since there is a serious disparity between our recent IFR flying skill and the

<sup>4</sup> There are inner and outer markers, but the whole procedure is designed to use only the inner marker. The outer one is to provide supplementary information to facilitate a more punctual flight.

requested one, we also have to work hard to accomplish the RW force transformation on this field.

However, will the Hungarian helicopter pilot community be capable for such a transformation? The answer is: probably not everybody. The reason behind is the age structure of the active RW pilots (Figure 1) and the air assets they were selected and trained for.

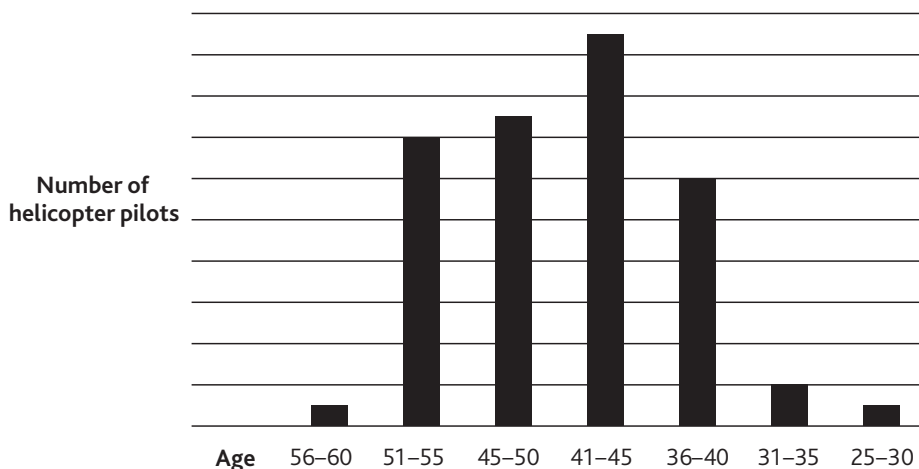


Figure 1.  
Age structure of the HDF 86, Szolnok Helicopter Base [compiled by the author]

Assessing the shape of the diagram, it becomes clear, that due to the 20 years long institutional training gap, the Hungarian helicopter pilot community is aged. Most of the pilots are older than 40. More than half of them are older than 45, and there is more 50+ and older than younger of 40. These numbers imply, that – with a few exception – the given pilots are not computer geeks. But, why is it a problem? Because flying a new generation helicopter (like H145M and H225M) requires more of a system operator skill than a real pilotage.

When the presently active helicopter pilots were selected and trained, the priority was on the pilotage. The helicopters, which were used to train them (Mi-2, Mi-8, Mi-24) were analogue ones, without any digitalisation and automatisisation. Actually, so they are now. It is a big question ahead of the RW force transformation how a relatively old community will cope with the digital era.

Another challenge will be to prepare our co-pilots to meet the modern era requirements. At this point, let me turn back again to the Soviet inheritance. Based on the Soviet method, all the helicopter pilots who complete the institutional RW training are starting as co-pilots. To advance from this position, to become a pilot in command, a person must prove his professional (theoretical and flying) skills, which can positively distinguish him from the others. Only the best co-pilots can be promoted to a higher position. So is the case with the instructor pilot selection. Only the best pilots in command can be promoted to be instructors [4]. It is a kind of a continuous competition amongst the pilots. At first glance it looks like a good system, but truly it is not. It bores friction amongst the pilots, kills the good personal relationship

amongst the former friends and crew resource management becomes a difficult task (since it is literally an unknown phenomenon).

If we turn back to the basic problem, we can easily define the problem with the co-pilots, which actually does not refer to a fault of theirs, but to the above mentioned training method. According to the Soviet training ideology, only the pilots-in-command and higher pilot categories must have pilot skills, the co-pilots just up to a certain level.

In case of a pilot-in-command's disability of flying,<sup>5</sup> it becomes the co-pilots responsibility to fly to the nearest landing zone, carry out an approach and land safely (without having the helicopter crashed) under instrument and visual meteorological conditions. Since the real requirement concerning this pilot category is to be capable for VFR and IFR navigation and proper radio-communication, their training focuses decisively on these skills, not on pilotage. As for this, they only have a limited flying hour.

It is also not a secret, that in many cases, there are situations when a quick decision must be made by the (acting) pilot-in-command. Since co-pilots almost never get into this kind of a situation, they do not have to bear the burden of the consequences of a decision, they are not even trained for it. Having these co-pilots without real pilot training and the experience of making decisions on board, their aptitude to the Hungarian RW force transformation is a big question ahead of us.

And a last remark to this topic: There is no guarantee at all that a relatively old, good flying pilot-in-command presently in service will be capable to pass the conversion training's requirements. It can easily happen that a younger co-pilot presently in service, who is a computer geek, will perform much better than a PIC.

## Maintainers' Skill Transformation

Putting western type helicopters into the Hungarian Defence Force's service will bring unavoidably a new maintenance philosophy, which also will set new requirements toward our maintainers. Technology transformation will inevitably lead to a new system-thinking. The debut of a new technology at the HDF's also requests a re-thinking of our education and training schemes both in structure and in content, so that the new generation of maintainers can acquire the necessary professional skills. The transformation raises many challenges and questions as follows.

Recently, due to the complexity of the maintenance tasks to be completed, there must be a specialisation implemented amongst the airframe, engine, radio and navigational systems, electrical- and weapon systems. There are three types of an airworthiness inspection carried out on the Russian designed helicopters on a normal flying day. These are the pre-, intermediate and post-flight inspections. At each of those, seven maintainers go to the helicopter. Four NCOs (with an engine, airframe, radio + navigation and electric system specialisation) do the maintenance works and sign those in the A/C logbook. Two OFs (with an engine + airframe, radio + electric system specialisation) are there to check (inspect) the quality of the work

<sup>5</sup> This situation can occur, when a pilot-in-command suddenly becomes unable to fly further due to an external violent influence, which causes body injury, fainting.

done by the NCOs and they also sign their checks in the logbook. The seventh person who goes to the helicopter is a high ranked engineer with an engine + airframe specialisation.

He is responsible for the certification of tasks and inspections done by the NCOs and OFs. Nevertheless, after his signature in the A/C logbook, the engineer bears all the responsibility for the maintenance works done; while he checks around the helicopter, the OFs are sauntering around proving no trust.

This distrustful behaviour is also inherited from the Russian era and institutionalised in the recent Maintenance manual [5]. It is not going to happen in the future. According to the Airbus maintenance philosophy, just the pre- and post-flight checks and works must be completed by authorised maintainers. The intermediate inspection (which is just a bit more than refuelling) is the responsibility of the pilot (Figure 2).

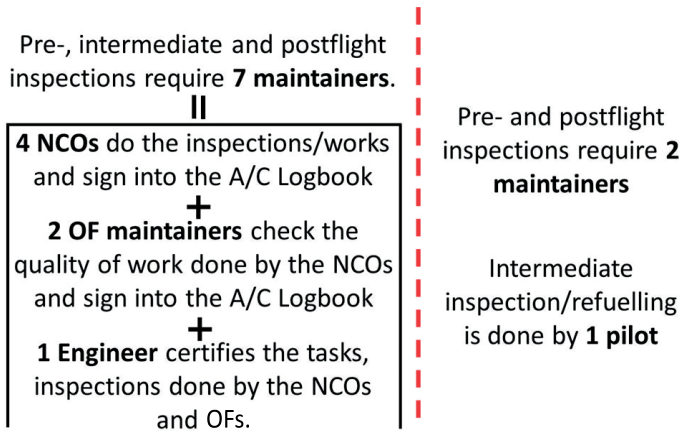


Figure 2.

*Maintenance work transformation (left: recent, right: future method) [compiled by the author]*

In connection with this topic, let me mention a language related challenge which will definitely confine the smooth transition to the western technology.

If we assess the age tree of our maintainers, we can clearly see that the average of them is more than 45 years old. This means that they were definitely trained using Russian not English. Additionally, since all helicopter documentation is written in Russian, they have not really been forced to learn English on a professional level. If we consider transforming these persons into English speakers (since all the documentation will be in English) when we will have the H145M in service in October 2019, that will raise big questions. Recently, there is a training program, which focuses on this problem, where the teaching priority is on the maintainer's language proficiency, but it seems a bit late for them to catch up. The situation is worsened by the fact that the attrition rate is quite high, since there is a maintainer shortage also in private life, where the salary is much higher than in the military. The individuals remaining in the system do not have sufficient time for learning, since they also have to do their professional job. They cannot even maintain their English knowledge. With their confined language proficiency, they do not want to participate in a foreign conversion training concerning western helicopters. Also, they do not want to sign long term contracts

with harsh conditions (for example: money payback upon failure on examinations which can easily happen due to their language difficulties).

As for the Russian fleet management: Since each of the components of the helicopter was designed to bear at least 50% more than it is stated as the maximum limitation in the manuals, we can say that the Russian RW assets are really permissive. Even though the Russians have been issuing bulletins, the domestic fleet sustainer decided not to buy those.

This “liberal” way of operation led to the situation, where the Hungarian maintainers, who were supposed to instruct their Afghan colleagues during the ISAF and Resolute Support Missions were helped out by the American and Russian maintainers who were also there to run the helicopters. Obviously, it is not going to happen with the western helicopters, where updating the manuals will not be an option any more. We have to get rid of this engrained pattern of thinking, which will not be easy since the system will be run by the same human resources.

## RW Technology and Related Logistic and Infrastructure Transformation

Each of the modern helicopters are equipped with a modern digital glass cockpit, which is night vision-goggle compatible. This differs from the analogue RW assets that we mainly use in our service (Figure 3).



Figure 3.

*H145M cockpit (up-right) [7], H145M cockpit (up-left) [8],  
Mi-24 cockpit (bottom-left) [9], Mi-17 cockpit (bottom-right) [10]*

It is unquestionable, that there is an enormous difference between the cockpit layouts, which represent the level of the technology, when these helicopters were designed.

As long as the analogue era proved its reliability on a low level of expectations, digitalisation reduces drastically the workload of the pilots (for example with the 4-axis digital autopilot) and provides a much better understanding of the operational environment. But, on the other hand, using computers on board raises the sensitivity of the whole system to the outer (mostly meteorological) effects.

Since we have been using old analogue but durable helicopters, we are not used to these sensitivities. As it was not a manufacturer requirement, we have not stored our helicopters in hangars. Without having the need for hangars for storing, we only have base maintenance hangars. Moreover, one of these base maintenance hangars does not have heating, nor proper electric system inside.

The question of storing spare parts goes along with the previously described ideology. According to the Russian combat philosophy, all the air assets (fixed and rotary-winged) must be capable for operation from any Forward Operating Base, under harsh conditions. If there is no need to place the helicopters into hangars, why should the spare parts be there? The only requirement toward a Russian-like store is, that it must be covered from each side. We are not talking here about humidity or temperature issues, just practically about a place, which has enough space inside. It is a crucial criterion, because it is not the same to have a container or to build an air-conditioned storage for spare parts on one of the FOBs of the operational area (for example in the middle of Afghanistan).

The proper storage is one thing, another issue is to run a computer based spare part ordering system. Nowadays, everything is run on paper (on the so called analytic register). If the unit/operator is short of any spare part, an official request must be sent to the commanding Logistic Directorate (J3) to have the given item ordered through the HDF Logistic Centre from the manufacturer (if there is an effective contract with it). If there is no valid contract to acquire the given spare part, a quite a long procurement process must be completed prior to the ordering through the Logistic Centre. It is always the Logistic Centre who communicates with the spare part provider, which means, that there is no direct link to the manufacturer from the operator level. Once the spare part arrives into the country, it must be transported directly into the HDF Central Storage, where it is registered. Having registered, the spare part now is available for the user. This supply chain is shown on Figure 4.

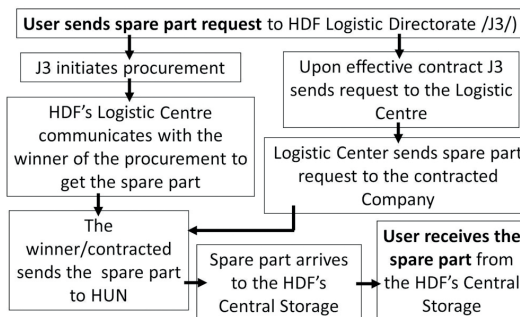


Figure 4.

*Spare parts supply chain recently used in HDF [compiled by the author]*

If the need arises on the part of the FOB, the request is sent to Hungary, and the item is transported to the given location through the Hungarian Defence Force (or allied) logistic supply chain. Without having computers, this bureaucratic, but less vulnerable system slowly but surely works. The case is different with the newly procured helicopters.

Here, the operator communicates in a digitally (computer) supported interactive way directly with the manufacturer (Figure 5). J3 only controls the whole process.

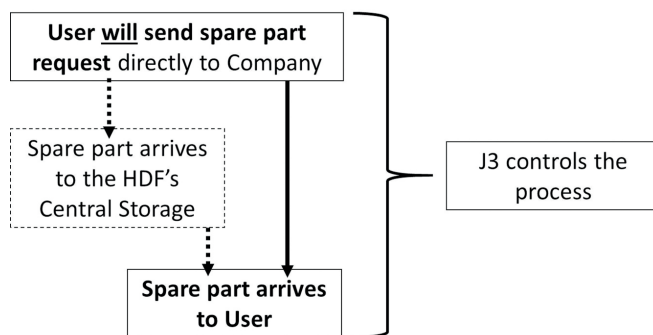


Figure 5.

*Future method to acquire spare parts* [compiled by the author]

In this system the responsibility of ordering spare parts will be on the operator, not on the owner anymore, but it puts a big burden on the logistic and/or maintainer expert at unit level that they are not used to. It is quite a big question ahead of the HDF's logistic system how it will cope with this simple-like but complex system.

Furthermore, recently the HDF's logistic system uses a paper-based flight data recording method, periodic maintenance work planning and obsolescence tracking. It is a kind of inheritance from the Soviet era, where simplicity was in the focus. That simplicity, which works everywhere, every time without having even electricity. However, it is not going to be the case in the future, where there is no paper, just a sophisticated software. It is a very quick solution but raises two challenges: 1. Operating the system puts a great responsibility on the shoulder of the assigned person, which he is not used to (as mentioned above). 2. A PC based, internet supported system must be created even on the FOB. To create and run this system and to build proper storing conditions is a logistic nightmare.

The above described lack of infrastructure and the new concepts of support will definitely pose a big challenge ahead of the smooth force transformation.

## Conclusion

The legacy of having Russian-built helicopters in the service of the Hungarian Defence Force since the 1950s have created a fossilised, paper based and highly bureaucratic maintenance system impregnated by mistrust with crosschecks at every level. Additionally, we inherited such a Soviet training philosophy which carries huge advanced and operational training deficiencies. Apart from these, we have enormous capability deficiencies with regard to our

helicopters' technology level (aged weaponry, insufficient self-defence and communication systems and no electronic warfare device). The Zrínyi 2026 Force Development program established a solid basis to overcome these problems by procuring new, western designed and built helicopters.

The future will bring challenges for pilots, maintainers and even logistic professionals to transform their knowledge to meet the requirements set by the Airbus, but from the broader perspective, set by the modern expectations of warfare.

## REFERENCES

- [1] International Civil Aviation Organization, *Annex 12 to the Convention on International Civil Aviation. Search and Rescue*. Eighth Edition, July 2004.
- [2] Warsaw Pact. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Warsaw\\_Pact](https://en.wikipedia.org/wiki/Warsaw_Pact) [Accessed Feb. 14, 2019].
- [3] Ch. E. Thompson, *The Red Army's Failure and the Birth of the Deep Operations Theory of Annihilation*. U.S. Army Command and General Staff College, 2017.
- [4] *Re/1320 Mi-8 Helikopter Harckiképzési Szakutasítás*. Honvédelmi Minisztérium, 1981.
- [5] *Re/415 Magyar Honvédség Repülőműszaki szabályzat*. Magyar Honvédség, 2013.
- [6] NATO Standardization Office, *AAP-6 NATO Glossary of Terms and Definitions*. Brussels–Bel, 2016.
- [7] Pinterest, "H145M cockpit," *Pinterest*, [Online]. Available: [www.pinterest.com/pin/830140143784101200/](http://www.pinterest.com/pin/830140143784101200/) [Accessed Feb. 14, 2019].
- [8] Aerokurir, "Cockpit-Innovationen bei Helikoptern," [Online]. Available: [www.aerokurier.de/motorflug/franzoesische-evolution-cockpit-innovationen-bei-helikoptern/](http://www.aerokurier.de/motorflug/franzoesische-evolution-cockpit-innovationen-bei-helikoptern/) [Accessed Feb. 14, 2019].
- [9] Pinterest, "Mi-24 cockpit," *Pinterest*, [Online]. Available: [www.pinterest.com/pin/386113368024517814/](http://www.pinterest.com/pin/386113368024517814/) [Accessed Feb. 14, 2019].
- [10] Wikipedia, the free encyclopedia, "Mi-17 cockpit," *Wikipedia, the free encyclopedia*, [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mil\\_Mi-8](https://en.wikipedia.org/wiki/Mil_Mi-8) [Accessed Feb. 14, 2019].

## A MAGYAR HELIKOPTER ERŐK ÁTALAKÍTÁSÁNAK KÉRDÉSEI

*Már több mint egy fél évszázada a Magyar Honvédség olyan helikoptereket használ, amelyek a volt Szovjetunióban lettek tervezve és megépítve. Természetesen az évtizedek alatt nagyon sok tapasztalatot szereztek az üzemeltetők, de ezzel együtt berögzültek pilótaképzési és repülőműszaki kiszolgálási eljárások. Most, hogy új, nyugati helikopterek beszerzéséről döntött a kormány, mindezeket maguk mögött kell hagyniuk. Új üzemeltetési filozófiát kell elsajátítaniuk, ami sok kihívást hordoz magában. Jelen tanulmányomban ezekre a kihívásokra kívánok rámutatni.*

**Kulcsszavak:** *helikopter, helikoptervezető, helikopter erők, átalakítás, kiszolgálás*

*Dr. Bali Tamás ezredes*  
*Bázisparancsnok helyettes*  
*MH 86. Szolnok Helikopter Bázis*  
[bali.tamas@hm.gov.hu](mailto:bali.tamas@hm.gov.hu)  
<https://orcid.org/0000-0001-6098-8602>

*Col. Tamás Bali, PhD*  
*Deputy Base Commander*  
*HDF 86th Szolnok Helicopter Base*  
[bali.tamas@hm.gov.hu](mailto:bali.tamas@hm.gov.hu)  
<https://orcid.org/0000-0001-6098-8602>

---



VÁKÁT OLDAL

Réz Levente

## A helikopterképesség fejlesztésének aktuális kérdései

*2018-ban 36 darab könnyű és közepes helikopter beszerzéséről döntött Magyarország Kormánya. A helikopterek a kor legmodernebb színvonalát képviselik, a legmodernebb avionikai, felderítő- és fegyverrendszerrel rendelkeznek. A helikopterek fogadásának, rendszerbe állításának számos feltétele van. Az új típusokhoz rendelt doktrinális háttér, a hadműveleti alkalmazhatóság, a harcászati eljárások modernizálása és az infrastrukturális feltételek megléte elengedhetetlenül fontos az üzemeltetés megkezdéséhez. Cikkem megírásával az volt a célom, hogy rávilágítsak az új helikoptertípusok rendszerbe állításának legfontosabb területeinek kérdéseire.*

**Kulcsszavak:** helikopter, HForce, C4ISR, infrastruktúra, Airbus, H-145M, H-225M

### Bevezetés

A Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program<sup>1</sup> ütemezett végrehajtásának megfelelően, 2018-ban a légerő haditechnikai eszközparkjának fejlesztése tekintetében született döntés. A Magyar Honvédség 20 darab könnyű, többcélú Airbus H145M típusú, valamint 16 darab H225M típusú közepes, többcélú helikopter beszerzéséről döntött.

A légerő-fejlesztés terén régóta napirenden lévő és emellett elengedhetetlen képességnövelő tényező a helikopterképesség megújítása. Ennek jegyében került sor a már hadrendben lévő eszközök nagyjavítására, azonban a meglévő Mi-8-as és Mi-17-es szállítóhelikopterek, valamint a Mi-24 harci helikopterek hamarosan elérik üzemidejük és rendszerben tarthatóságuk végső határidejét. Ezek pótlásáról döntött a tárca az új helikopterek beszerzésével, amelynek érdekében szerződést kötött az Airbus céggel.

A megújuló képességgel nem csupán az eszközök darabszáma növekszik, hanem egy újabb lépést tettünk az irányba, hogy a Magyar Honvédség hadrendjébe a kor színvonalán álló, modern haditechnikai eszközök kerüljenek.

<sup>1</sup> Zrínyi 2026 – Honvédelmi és haderőfejlesztési program, amelynek célja egy korszerű eszközökkel felszerelt, a kor biztonsági kihívásaira adekvát válaszokat adó honvédség létrehozása.

## A modern helikopterképesség

A helikopterképesség meghatározása több elemet foglal magában, amelyek egyenként pusztán a légierő, mint rendszer egyes elemei, együtt viszont a haderőnem egyik fegyvernemét alkotják. A repülőeszközök, a kiképzett repülő-hajózó és repülőműszaki állomány, a logisztikai biztosítás rendszere, az infrastrukturális feltételrendszer, valamint az erők vezetése és irányításának összessége alkotja a helikopterképességet. Ahhoz, hogy egy ilyen modern helikopterképességet alkalmazó alakulat az újonnan beszerzett repülőeszközök üzemeltetését megkezdje, az említett felsorolt helikopterképesség elemeinek feltételrendszerét meg kell teremteni. A hajózó és műszaki állomány felkészítését, átképzését meg kell tervezni és a helikopterek érkezéséhez igazítva, ütemezve végre kell hajtani. A logisztikai kiszolgálást – új alapokra helyezve – ki kell dolgozni. A helikopterek tárolásának és üzemeltetésének feltételrendszerét a gyári és szövetségi előírásokra és szabályzókra alapozva, igazodva a nemzeti előírásokhoz időben meg kell teremteni. Ezen feltételek egyik alapvető eleme a megfelelő infrastruktúra megléte.

## A modern helikopterek kifejlődése

A helikopterek katonai alkalmazására kétségen kívül a vietnámi háború (1961–1971) volt legnagyobb hatással. A Vietnámban végrehajtott és folyamatosan módosított műveleti eljárások a helikopterek fejlesztésének szempontjából meghatározó jelentőséggel a bírtak. A helikopterek alkalmazásának jelentőségét Westmoreland tábornok, a US Air Force<sup>2</sup> akkori vezérkari főnöke fogalmazta meg először. Szerinte egymillió katonával többet kellett volna a térségbe vezényelni, ha nincsenek a haderő mellé rendelt helikopterek. Ezekben az években kezdték meg – a mai napig is modernizálás alatt álló – UH-1 „Huey” és később az AH-1 „Cobra” típusok használatát. Ez a két típus hatalmas lépést jelentett a helikopterek későbbi sikerességét tekintve, nagyban segítette azok elfogadottságát.



1. ábra  
UH-1 „Huey” helikopter [1]

<sup>2</sup> US Air Force – Amerikai Egyesült Államok Légierő.

Szilvássy László *A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben* című PhD-értekezésében írja a következőket: „1970-re már 4000 helikopter volt a térségben. A szállítások méretei szinte elképesztők, pl. 1962 és 1970 között a szállító-helikopterek 24,7 millió betvétést hajtottak végre, 38,5 millió katonát, 3,5 millió tonna anyagot és harci technikát szállítottak” [2].



2. ábra  
AH-1 „Cobra” helikopter [3]

„A hatvanas évek végén és a hetvenes évek elején részben már a vietnámi háborúban szerzett tapasztalatoknak is köszönhetően újból hangsúlyt kapott a csapatok légi támogatása. Ebben az időben készültek el és álltak hadrendbe, a máig is ismert és használatban levő csatarepülőgépek, mint például a Szu-25 és az A-10, valamint előtérbe került a felfegyverzett helikopterek fejlesztése. A helikopterek felfegyverzésének gondolata már korábban is foglalkoztak, mert a vietnámi háborúban már teljesítettek feladatot az UH-1 »Iroquois« helikopterek felfegyverzett változatai. Bár nem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket, de rámutattak az eszközök szükségességére és hiányaira is egyaránt. A harci tapasztalatok azt mutatták, hogy mindenképpen szükség van egy felfegyverzett, jól manőverező és intenzív légvédelmi tevékenység körülményei között is bevethető repülőeszközre.” Később előtérbe került a helikopterek felderítési, valamint EHC<sup>3</sup>-feladatokba való bevonása is [2]. Egyetértek az értekezésben leírtakkal, amely a helikopterek szükségessége mellett rámutatott a korai fejlesztési irányok fontosságára is.

Szilvássy értekezésében részletesen kifejti, hogy a tapasztalatokat gyarapították az előző évtizedekben lezajlott háborúk és konfliktusok is. Az első és második öbölháborúban is korszerű harci helikopterek repültek, szoros együttműködésben a merevszárnyú csapásmérőkkel. „1991-ben AH-64A „Apache” és OH-58D „Kiowa Warrior” helikopterek készítették elő Kuwait visszafoglalását. 2003-ban már az Apache „D” modernizált változata repülhetett együtt az A-10 csatarepülőgéppel. A harci repülőgépek ilyen nagymértékű szerepvállalása azzal magyarázható, hogy a korszerű összhaderőnemi „támadó hadműveletben az ellenséges csapatokat hadműveleti felépítésük teljes mélységében egyidejűleg pusztítják még olyan mélységben

<sup>3</sup> EHC – Elektronikai harc.

is, ahová a helikopterek harcászati hatósugara már nem terjed ki" [2]. A harci helikopterek az öbölháborúkban a páncélozott célok mellett már más objektumokra is mértek csapásokat.

A közelmúlt fegyveres konfliktusai, amelyekre az aszimmetria jellemző, továbbalakították a helikopterek alkalmazásának területeit. A technológiai fejlődés lehetővé tette a kommunikációs, avionikai, felderítő, elektronikai zavarórendszerek képességeinek rohamos növelését. Képesé tette a modern repülőeszközöket az összhaderőnemi harc megvívására, együttműködve bármely szövetséges ország légi- és szárazföldi erőivel.

A H145M<sup>4</sup> [4] könnyű-, és a H225M<sup>5</sup> [5] közepes helikopterek a világon ma elérhető legmodernebb helikopterek közé tartoznak. Modernné teszik ezeket az eszközöket a fejlett avionikai rendszereik, a kivételes képességű HForce<sup>6</sup>-fegyverrendszer, a fedélzeten lévő precíziós repülésvezérlő és navigációs berendezések, valamint szenzorok. Mindezek a modern eszközök digitális interfészekon keresztül, folyadékkristályos kijelzők segítségével segítik a helikopter személyzetét a feladatok végrehajtásában. A helikopter a kor legmodernebb anyagaiból épül fel, amelyek nem nélkülözik többek között a kompozitanyagokat sem.



3. ábra  
H-145M helikopter HForce-fegyverrendszerrel [6]

## A modern helikopteralkalmazás doktrinális és jogi háttere

### A hazai szabályozás, alkalmazási felhatalmazás

Magyarország Alaptörvényének 47. cikke [7] alapján nyílik lehetőség a Magyar Honvédség erőinek külföldi alkalmazására, amely expedíciós jellegű műveleti képességeket követel. Az Országgyűlés 94/1998. (XII. 29.) határozata [8] rögzíti, hogy az Alaptörvény felhatalmazását alapul véve, az országgyűlés határozata szerint foglalmazták meg hazánk Nemzeti Biztonsági [9] és Nemzeti Katonai Stratégiáját [10].

<sup>4</sup> H145M – Az Airbus cég által kifejlesztett és gyártott többcélú, könnyűhelikopter, a H145 típus katonai változata.

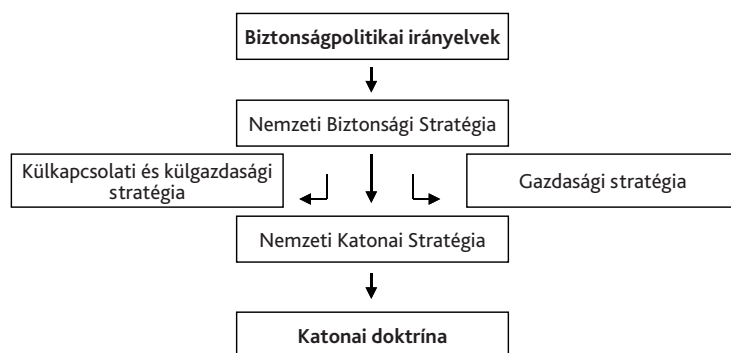
<sup>5</sup> H225M – Az Airbus cég által kifejlesztett és gyártott többcélú, közepes helikopter, a H225 típus katonai változata.

<sup>6</sup> HForce – Az Airbus helikopterekhez kifejlesztett, integrált fegyverrendszer.

Bali Tamás *A helikopterek NATO elvek szerinti alkalmazásának doktrinális kérdései* című cikkében a következőképpen ír a hazai szabályozásról: „A Nemzeti Biztonsági Stratégia III. fejezetében foglaltak alapján hazánk katonai-védelmi oldalról biztosítja az érdemi hozzájárulást a szövetséges missziók teljes spektrumában illetve a szövetséges koalíciós műveletekben. Erre épülve a Nemzeti Katonai Stratégiában került rögzítésre, hogy hazánk hadereje csak akkor tudja eredményesen felvenni a harcot a jelenkori és jövőbeni kihívásokkal szemben, ha képes lesz a tagállamok hadseregeivel szorosan együttműködve, szakszerűen beavatkozni bármilyen konfliktushelyzetben” [11].

Magyarország a szövetségi kötelezettségekre épülő képesség felajánlása kapcsán elkötelezte magát a nemzetközi, határainktól távol eső helyszíneken történő katonai jellegű feladatok végrehajtására [11].

A 4. ábrán látható a katonai doktrínák kialakulásához vezető folyamat, amelyet alapvetően a biztonságpolitikai szabályzók határoznak meg [12].



4. ábra

*Az okmányrendszer hierarchikus felépítése [a szerző szerkesztése]*

## ***Szövetségben belüli doktrinális szabályzás felépítése***

A NATO-ban a tagállamok által közösen kidolgozott és jóváhagyott doktrínák tartalmazzák a haderő szövetségi műveletekben történő alkalmazásának elveit, valamint a műveletekben részt vevő erők képességeivel és felépítésével kapcsolatos normákat. Azt határozzák meg, hogy milyen alapelvek mentén kell a katonai erőket alkalmazni egy bizonyos cél elérése érdekében.

Bali rámutat: „A katonai doktrínák a katonai stratégiákból származtathatóak. Ezen stratégiák a fegyveres védelem alapelveit és végrehajtásának módját, a katonai védelem szervezésének és kivitelezésének irányelveit tartalmazzák [6]. A katonai stratégiák tulajdonképpen azt határozzák meg, hogy mit kell tenni annak érdekében, hogy a katonai vagy politikai célok elérhetővé váljanak.

Természetesen a katonai stratégiák nem független, önállóan létező dokumentumok. Ezek kialakítása, belső tartalma a biztonsági stratégiában lefektetett elveken alapul. A biztonsági stratégia meghatározza egy nemzet vagy egy szövetség biztonságát veszélyeztető fenyegetési, kockázati, illetve kihívási tényezőit. Pontos képet ad azon politikai-, gazdasági,

társadalmi- és környezeti fenyegetésekről, melyek közvetve vagy közvetetten veszélyeztetik az adott nemzet vagy szövetség kialakult külső vagy belső stabilitását. Meghatározza azon veszélyeket, melyek veszélyeztetik a nemzeti vagy szövetséges érdekeket, értékeket.

A NATO tagországokban a katonai doktrínák általában haderőnemi-, bizonyos esetekben pedig összhaderőnemi szinten készülnek. Ez függ attól, hogy az adott doktrína egyes haderőnemek alkalmazásával foglalkozik, vagy pedig a haderőnemek együttműködése által kialakuló összhaderőnemi hadviselésre” [11].

## A modern infrastruktúra

A szövetségesi rendszerben repülő technikák elvárt hadrafoghatósági mutatóit a NATO-standard, AFS Volume III.<sup>7</sup> [14] határozza meg. A dokumentum alapján átlagosan 80%-os, de legalább 70%-os folyamatos hadrafoghatóságot kell biztosítani. Az üzemképesség biztosíthatóságának egyik elengedhetetlen eleme az előírt infrastrukturális feltételek biztosítása. Modern repülőeszközöknél az infrastruktúra több elemből tevődik össze, amelyek együttes megléte biztosítja a már említett hadrafoghatóságot és a gyári előírások alapján végrehajtható üzemeltetést. A fedélzeten található berendezések érzékeny felépítése, valamint a helikopter szerkezeti anyagainak sajátossága miatt, a helikopter tárolása és üzemeltetése során az alkalmazott infrastruktúrának számos előírásnak meg kell felelnie.

A modern infrastruktúra elemei:

- ☛ üzemeltetést és tárolást biztosító épületek (hangárok),
- ☛ a speciális javítások végrehajtására alkalmas helyiségek,
- ☛ az üzemeltetést biztosító energiaellátó rendszer,
- ☛ az üzemben tartást biztosító informatikai rendszer,
- ☛ a repülőműszaki kiszolgálást biztosító speciális beépített berendezések,
- ☛ a tartalék alkatrészek tárolásához szükséges – az előírt feltételeket biztosító – raktárak,
- ☛ a repülő-műszaki állomány elhelyezését és munkavégzését biztosító helyiségek,
- ☛ a helikopterek, valamint az alakulat alaprendeltetéséből adódó készenléti szolgálatok elhelyezésével és riasztásával kapcsolatos helyiségek és rendszerek,
- ☛ a repülőeszköz fedélzeti berendezései és szenzorai által gyűjtött és tárolt információk átviteléhez, tárolásához szükséges csatlakozó és hálózati rendszerek,
- ☛ a helikopteren található eszközök biztonsági besorolásának megfelelő, az üzemeltető és/vagy tárolóhangárok információbiztonságát biztosító eszközei,
- ☛ a helikopterek repülésre történő előkészítését, indítását biztosító állóhelyek (Apron<sup>8</sup>), a hozzá tartozó fénytechnikai rendszerrel,
- ☛ nyugvó hajtóműpróbához alkalmas állóhely, süllyesztett rögzítési pontokkal,
- ☛ a helikopterek állóhelyei és a repülőtér gurulóútjai közötti csatlakozó gurulóút,
- ☛ a légiforgalmi irányítás biztosítása a helikoptereknek kialakított apronhoz illesztve [15].

<sup>7</sup> AFS Volume III. – Allied Command Europe Forces Standards Volume III.

<sup>8</sup> Apron – Forgalmi előtér.

## A modern repülőtér

A repülőeszközök üzemeltetése feltételeinek biztosításához hozzátartozik a repülőtér munkaterületének megfelelő kialakítása. A szövetségi rendszerbe teljes mértékben illeszthető, befogadó nemzeti támogatásra képes repülőtereknek számos követelménynek kell megfelelnie. A NATO-repülőterekkel kapcsolatos kritériumokat a *Bi-SC<sup>9</sup> Directive 085-005 (MC 0445/2)* *NATO Criteria and Standards for Airfields* című dokumentum határozza meg. A civil repülőterekkel kapcsolatos szabályokat és ajánlásokat az *ICAO<sup>10</sup> Annex 14*. dokumentum tartalmazza.

A NATO-direktíva főbb elemei:

- ☛ a repülőtér infrastruktúrájával kapcsolatos általános tervezési és élettartam-elvárások,
- ☛ a repülőeszközök üzemeltetésének alapvető feltételeivel kapcsolatos kritériumok,
- ☛ a pályával, gurulóutakkal és az apronokkal kapcsolatos elvárások,
- ☛ az utakkal és közlekedéssel kapcsolatos kritériumok,
- ☛ a fő és tartalék energiaellátással kapcsolatos adatok,
- ☛ a légiforgalmi irányító és tájékoztató szolgáltatásokkal, valamint eszközökkel kapcsolatos szttenderdek,
- ☛ a repülőtér repülő és repüléshez kapcsolódó valamennyi eszköz üzemeltetésének feltételei,
- ☛ az erők védelmének feltételei [15].

## A hangár kialakítása

Az új típusú repülőeszközök fogadására való felkészülés során elengedhetetlen a leendő üzemeltetés és elhelyezés lehetséges változatainak vizsgálata, azok megtervezése. Kézenfekvő a korábbi típusok üzemeltetésénél használt hangárok, állóhelyek használata. Ez azonban több szempontból sem lehetséges. A már korábban említett precíziós fedélzeti berendezések és kijelzők speciális felépítése miatt, valamint a felhasznált szerkezeti anyagok miatt egy sor kritériumnak meg kell felelnie a hangár épületének. Ezeket a kritériumokat alapvetően az alábbi szabályzók határozzák meg:

- ☛ a gyártó cég (Airbus) előírásai,
- ☛ NATO Standards [15],
- ☛ a helikopter minősített fedélzeti berendezéseire vonatkozó információvédelmi előírások,
- ☛ a helyi hatósági szabályzók [16], [17], [18].

A helikopterek üzemeltetése során az üzemeltetés két különböző, azonban egymással szorosan összefüggő platformon valósul meg.

A repülések folyamatos kiszolgálása során az úgynevezett „line maintenance”<sup>11</sup> valósul meg. Ennek során a helikopterek folyamatos üzemképes állapotának ellenőrzése és biztosítása mellett, korlátozott körű ellenőrzési és karbantartási munkapontokat hajtanak végre.

<sup>9</sup> Bi-SC – Bi-Strategic Commands.

<sup>10</sup> International Civil Aviation Organization.

<sup>11</sup> Line maintenance – Üzemeltető – tároló hangár – A helikopterek folyamatos üzemeltetését és tárolását foglalja magában. Korlátozott karbantartások és javítások végrehajthatók a helikopteren.

A fentiek alapján a „line maintenance”-hangár legfőbb funkciója a helikopterek tárolása, valamint a folyamatos hadra fogható állapotban tarthatóság biztosítása. Képesnek kell lennie megóvnia a repülőeszközöket azoktól az időjárási körülményektől, amelyek veszélyeztetnék az érzékeny avionikai és repüléstámogató rendszereket, alkatrészeket.

Ez a tárolóhangár alkalmas arra, hogy a helikopter különböző kiegészítőberendezéseinek és opcionális eszközeinek helyet adjon. Ide készletezhetők továbbá a missziós, valamint külső leszállóhelyen végrehajtott hadműveleti alkalmazáshoz szükséges eszközök.

A fenti funkciók teljesüléséhez az alábbi feltételek elengedhetetlenek:

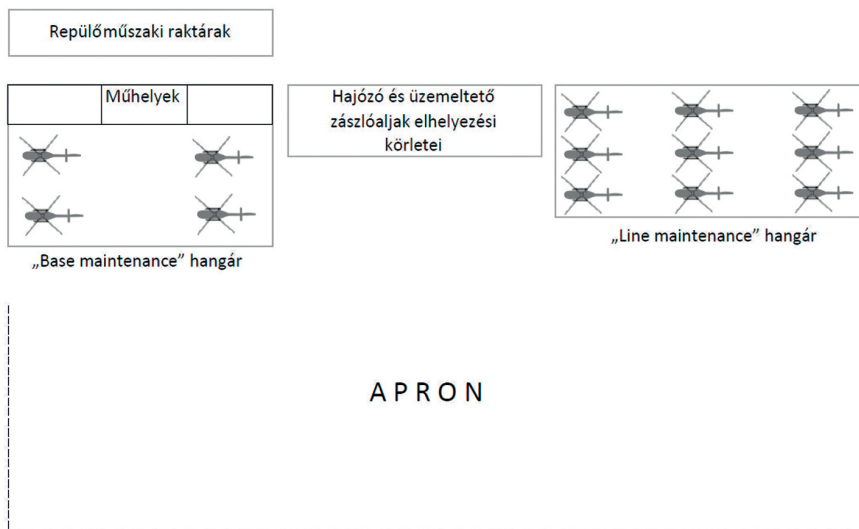
- ☛ a hangár megfelelő mérete a tároláshoz előírt oldaltávolságok és belső magasság figyelembevételével;
- ☛ a hangárajtók megfelelő mérete;
- ☛ a hangár megfelelő szerkezeti kialakítása, hogy a helikopterek egymástól függetlenül ki-be mozgathatók lehessenek;
- ☛ a tárolóhangár csatlakozása a helikopterek üzemeltetését biztosító apronhoz;
- ☛ a megfelelő természetes, valamint mesterséges megvilágítás biztosítása;
- ☛ az előírt biztonságtechnikai rendszerek, támogató funkciók megléte.

Az előírt időszakos karbantartások, valamint a javítások a line maintenance biztosította körülmények között nem hajthatók végre. Az ilyen, nagyobb bonyolultságú és hosszabb időt igénylő repülőműszaki munkák végrehajtása az úgynevezett „base maintenance” keretében lehetséges. Az erre alkalmas hangár mind méretében, mind pedig felszereltségében lényegesen eltér az egyszerűbb tárolóhangártól.

„Base maintenance”<sup>12</sup>-hangár jellemzői:

- ☛ a tárolóhangáraktól lényegesen nagyobb méret, ami biztosítja a helikopterek közötti előírt oldaltávolságot;
- ☛ repülőműszaki műhelyek a hangárhoz csatlakoztatva;
  - a műhelyek száma az adott típusok gyári előírásaitól függ;
- ☛ állványrendszer, amely lehetővé teszi a hozzáférést a helikopter teljes sárkányfelületéhez, valamint a fedélzeti rendszerekhez;
- ☛ a típushoz előírt teherbírású mennyezeti daru, amely a teljes munkaterületet lefedi;
- ☛ kiépített elektromos táphálózat a fedélzeti rendszerek ellenőrzéséhez;
- ☛ hőmérséklet- és páratartalom-szabályozás a hangárban és a műhelyekben;
- ☛ lehetőség szerinti természetes fény, valamint meghatározott fényerősségű mesterséges fény biztosítása;
- ☛ a kompozit szerkezeti elemek, valamint a forgószárnylapátok javítására alkalmas műhely, vagy a hangár erre alkalmas, kijelölt része [19].

<sup>12</sup> Base maintenance – Javító hangár – A repülőműszaki kiszolgálás javító és karbantartó kapacitása, funkciója. A helikopterek időszakos karbantartási munkáit, valamint a javításokat itt hajtják végre.



5. ábra

*Airbus helikopterek üzemeltetésének lehetséges elhelyezési vázlata [a szerző szerkesztése]*

A H145M helikopterek egyik legfőbb jellemzője a fedélzeten található, a kor legfejlettebb színvonalát képviselő C4ISR<sup>13</sup> kommunikációs és felderítőrendszer. A műveletek tervezése, vezetése és kiértékelése szempontjából elengedhetetlen egy ilyen modern felderítőrendszer alkalmazása. A Magyar Honvédség keretein belül ez a légi mobil C4ISR-képesség új képesség megjelenését jelenti, ami számos kérdést vet fel mind doktrinális, mind pedig a hadműveleti tervezés és a harcászati alkalmazás terén. További kihívás a rendszer szenzorai által gyűjtött adatok valós idejű továbbítása, valamint a mentett adatok letöltése és felhasználása.



6. ábra

*H-145M C4ISR munkaállomás [20]*

<sup>13</sup> C4ISR – Command, Control, Communication, Computers, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance – vezetés, irányítás, kommunikáció, számítógépek, hírszerzés, megfigyelés, felderítés.

Az említett felderítőrendszer legtöbb eleme minősített eszköz, amelyek üzemeltetése és kezelése során a hazai, valamint a szövetséges információvédelmi előírásokat be kell tartani. Ahhoz, hogy ezek az előírások betarthatók lehessenek, már a tároló- és javítóhangárok tervezésekor figyelembe kell venni a rendszer alkalmazásából következő kritériumokat:

- Amennyiben a helikopteren található C4ISR-rendszer által rögzített adatok a hangárban tárolás idejére a repülőeszközből nem távolíthatók el, felmerül a védett, akkreditált körülmények közötti tárolás igénye.
- A hangárkomplexum tervezésekor figyelembe kell venni, hogy a helikopterek C4ISR-rendszereiből kinyert adatok mentésére, kiértékelésére és továbbítására a feladatra kijelölt – akkreditált fizikai biztonsági mutatókkal rendelkező – körletekre van szükség.
- Célszerű továbbá a repülőeszközöket üzemeltető helikopteregység C2<sup>14</sup>-rendszerének elhelyezési körleteit a fenti C4ISR-körletekkel közös elhelyezési blokkban kialakítani, mert így hatékonyabban érvényesíthetők az előírt fizikai biztonsági előírások. Fontos szempont továbbá, hogy a vezetés-irányítás és a vezetői döntéselőkészítés minden eleme egy helyen lehetne integrálható, ami a műveletek tervezését és végrehajtását nagyban elősegítheti.
- Gondoskodni kell a felderítőrendszer adatrögzítő elemeinek – amennyiben ezek el-távolíthatók – szabályos kezeléséről és raktározásáról.

## A modern raktárak kialakítása

Az Airbus cég, hasonlóan a modern repülőeszközöket gyártó európai és amerikai cégekhez, helikoptereihez komplex logisztikai és kiképzési csomagot biztosít. A logisztikai csomag tartalmazza a megvásárolt helikopterek számának és a repülési idejének függvényében a kezdő alkatrészcsomagot. A cég biztosítja továbbá a csomagban nem biztosított alkatrészek az üzemeltetés helyszínére szállítását 24 órán belül.

Az Airbus helikopterek szerkezeti kialakítása, fedélzeti rendszereik felépítése modern, megfelel a 21. század követelményeinek. A modern helikopter precíziós alkatrészekből, a kor követelményeinek megfelelő anyagokból épül fel. Ezeknek a modern alkatrészeknek és sok esetben kompozit szerkezeti elemeknek a tárolása, raktározása nagy körültekintést igényel, csak a gyári előírások szerint kezelhetők.

Az alkatrészek megrendelése, nyomon követése és élettartam-nyilvántartása számítástechnikai rendszerek, gyári szoftverek alkalmazásával lehetséges. A tervezett karbantartások, valamint a napi üzemeltetés során a repülőműszaki állomány folyamatos kapcsolatot tart a gyári szakemberekkel egyes hibák elhárítása vagy éppen egy adott alkatrész megrendelésnek érdekében. A kapcsolattartás strukturált hálózaton és internetes kapcsolat segítségével történik. Az alkatrészek megrendelését, a tervezett karbantartásokat, valamint az egyes alkatrészek élettartamának nyilvántartását speciális szoftverek teszik lehetővé.

Fentiek alapján a raktárakkal szemben támasztott követelmények:

- a gyári ajánlásnak megfelelő, valamint a tárolandó alkatrészek mennyiségéhez méretezett alapterület;
- az alkatrészek tárolásához előírt, annak megfelelő klimatizálás;

<sup>14</sup> C2 – Command, Control – Vezetés, Irányítás.

- ✈ az alkatrészek nyilvántartására és kiadására kialakított, elkülönített iroda;
  - internetes és strukturált hálózathoz csatlakoztatott, megfelelő számú informaticai eszköz;
- ✈ az alkatrésztárakat célszerű csatlakoztatni a repülőműszaki műhelyekhez [19].

## Összegzés

Az elmúlt 25 évben nem történt olyan mértékű honvédelmi és haderőfejlesztés, amit a Zrínyi 2026 program képvisel. A fejlesztés eredményeként a Magyar Honvédségbe érkező új típusú technikák, köztük a helikopterek rendszerbe állítása számos kérdést vet fel. Elengedhetetlen, hogy minden terület kellő figyelmet kapjon. A doktrinális háttér átdolgozása éppúgy fontos, mint ahogyan az új harcászati eljárások kidolgozása, a C4ISR-rendszer alkalmazási feltételeinek megteremtése és az infrastrukturális háttér biztosítása. Körültekintő elemzéssel, tervezéssel és részletes kidolgozómunkával megfelelően előkészíthető és megkezdhető az új típusú eszközök üzemeltetése. A cikk keretei nem tették lehetővé, hogy minden területet áttekinthessek. A hajózó személyzetek átképzése és kiképzése, a repülőműszaki üzemeltetés kidolgozása, vagy éppen az orosz helikoptertípusok rendszerből való kivezetése további fontos területei a témának.

## Hivatkozások

- [1] "Huey 5A helicopter," [Online]. Elérhető: [www.aviation-history.com/bell/huey-5a.jpg](http://www.aviation-history.com/bell/huey-5a.jpg) (Letöltve: 2019. 05. 28.)
- [2] L. Szilvássy, „A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben,” Doktori (PhD) értekezés, 2008, pp. 13–18.
- [3] "AH1 Cobra," [Online]. Elérhető: [www.warrelics.eu/forum/attachments/aircraft/124544d1280098272-ah-1g-cobra-attack-helicopter-cobra-737hfexteriorground-rightside.jpg?s=742aee9d114c8957c53900ec93308c7a](http://www.warrelics.eu/forum/attachments/aircraft/124544d1280098272-ah-1g-cobra-attack-helicopter-cobra-737hfexteriorground-rightside.jpg?s=742aee9d114c8957c53900ec93308c7a) (Letöltve: 2019. 06. 04.)
- [4] Airbus, "Airbus H145" *Airbus*, [Online]. Elérhető: [www.airbus.com/helicopters/civil-helicopters/light-twin/h145.html](http://www.airbus.com/helicopters/civil-helicopters/light-twin/h145.html) (Letöltve: 2019. 06. 04.)
- [5] Airbus, "Airbus H225M" *Airbus*, [Online]. Elérhető: [www.airbus.com/helicopters/military-helicopters/heavy/h225m.html](http://www.airbus.com/helicopters/military-helicopters/heavy/h225m.html) (Letöltve: 2019. 06. 04.)
- [6] <https://htka.hu/wp-content/uploads/2018/06/H145M-HForce-Bakony.jpg> (Letöltve: 2019. 05. 29.)
- [7] Magyarország Alaptörvénye (2011. április 25.), 47. cikk
- [8] 94/1998. (XII. 29) OGY határozat a Magyar Köztársaság biztonság- és védelempolitikájának alapelveiről, 17. pont
- [9] 1035/2012. (II. 21.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról, 1. számú melléklet
- [10] Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiája, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 2012.
- [11] T. Bali, A helikopterek NATO elvek szerinti alkalmazásának doktrinális kérdései, *Repüléstudományi Közlemények*, 23. évf. 1. sz., 2011.
- [12] Z. Krajnc és I. J. Hadnagy, Doktori (PhD-) értekezés a magyar légierő doktrínáját befolyásoló tényezőkről, *Repüléstudományi Közlemények*, 13. évf. 1. sz., pp. 7–24., 2001.

- [13] Cs. Kiss, A NATO Légierő doktrínája: A légierő haderőnem felkészítésével, alkalmazásával és a hadviselésben betöltött szerepével kapcsolatos gondolkodásmód alapjai az Észak-Atlanti Szövetségben. Budapest: Stratégiai és Védelmi Kutató Intézet, 1999.
- [14] AFS Volume III.: ACO Forces Standards Volume III., A NATO erőkkal szemben megfogalmazott követelmények 2005. pp. 15–20.
- [15] Bi-SC Directive 085-005 NATO Approved Criteria and Standards for Airfields, A NATO repülőterekkel szemben támasztott kritériumok és egységes követelmények, 2018, pp. 13–163.
- [16] 312/2012. (XI. 8.) Korm. rendelet az építésügyi és építésfelügyeleti hatósági eljárásokról és ellenőrzésekről, valamint az építésügyi hatósági szolgáltatásról
- [17] 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról
- [18] 159/2010. (V. 6.) Korm. rendelet a repülőtér létesítésének, fejlesztésének és megszüntetésének, valamint a leszállóhely létesítésének és megszüntetésének szabályairól
- [19] Facilities recommendations for maintenance and operations of a H145M and H225M fleet on a military base, AIRBUS, 2018.
- [20] [https://img.mf.cz/497/168/5-EC135\\_pro\\_Policii\\_CR\\_vybaveni\\_small.jpg](https://img.mf.cz/497/168/5-EC135_pro_Policii_CR_vybaveni_small.jpg) (Letöltve: 2019. 05. 30.)

## RECENT QUESTIONS OF HELICOPTER FORCE DEVELOPMENT

*In 2018, the Government of Hungary decided to purchase 36 light and medium helicopters. These Helicopters represent the most advanced technology of our time, with the most advanced avionics, reconnaissance and weapon systems. There are several conditions for receiving and integrating the helicopters in service. The doctrinal background associated with the new types, operational applicability, tactical procedures and infrastructure conditions are essential to get started. My article was designed to highlight the questions on most important areas of service integration.*

**Keywords:** *helicopter, HForce, C4ISR, infrastructure, AIRBUS, H-145M, H-225M*

---

Réz Levente alezredes  
Törzsfőnök-helyettes  
MH 86. Szolnok Helikopter Bázis  
[rez.levente@mil.hu](mailto:rez.levente@mil.hu)  
<https://orcid.org/0000-0001-5186-7438>

Lt. Col. Levente Réz  
Deputy Chief of Staff  
HDF 86th Szolnok Helicopter Base  
[rez.levente@mil.hu](mailto:rez.levente@mil.hu)  
<https://orcid.org/0000-0001-5186-7438>

---



Szalkai István

## Pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának történelmi pillanatai és ezekből levonható következtetések

*Egy ország légvédelmének biztosítása folyamatos kihívás elé állítja az ilyen feladatokat ellátó személyeket és szervezeteket. Ennek egyik speciális területe a kis magasságon repülő, kezdetleges, pilóta nélküli légi járművekre telepített robbanóeszközök elleni minden irányú védelem ügye, amely légvédelmi tevékenységként értelmezhető. A cikkben részletesen bemutatom a települési légvédelem szervezésének és kezdeti működésének kérdéseit, történelmi távlatokból vizsgálva és az első alkalmazások kudarcaiból kiindulva, rámutatva azok társadalmi fontosságára. A cikk megírásának alapja a témakörhöz kapcsolódó hazai és nemzetközi szakirodalom tanulmányozása és elemzése, valamint a szerző hadtörténelmi témakörben szerzett tapasztalatai. A cikk eredményeként megfogalmazható, hogy az aszimmetrikus hadviselés légitámadásai során bekövetkezett halálesetek és egyéb balesetek a jövőben megelőzhetőek lehetnek egy, az egész országra kiterjedő, alapvetően pilóta nélküli légi járművek ellen gyorsreagálású egységként kitelepülő mobil légvédelmi elhárító rendszer kiépítésével.*

**Kulcsszavak:** pilóta nélküli légi jármű, technikatörténet, mobil légvédelmi elhárító rendszer

### A kezdetek

#### *Az első légi bombatámadás pilóta nélküli légi járművekről Velencében*

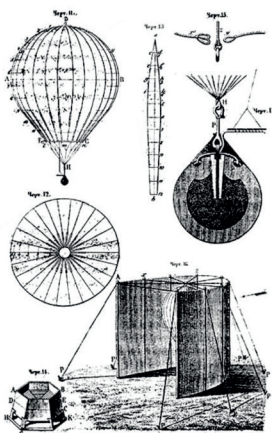
A pilóta nélküli repülés az elmúlt időben egyre aktuálisabb szerepet kap [1], [2]. 1849. augusztus 22-én szenvedte el Velence az első pilóta nélküli légi járművekkal, egészen pontosan ballonokról végrehajtott légitámadást, fél évvel azután, hogy Ausztria legyőzte a Szárd–Piemonti Királyságot az első olasz függetlenségi háborúban [3]. Az osztrákok megpróbálták visszaszerezni a velencei irányítást, ahol a forradalmi vezető, Daniele Manin létrehozta a San Marco Köztársaságot [4]. Velencét, amelyet 1848 márciusában a Manin által vezetett Velencei Köztársaság irányítása alatt az osztrákok ostromoltak (1. ábra), akik 1849 márciusában a párizsi hadsereg fölötti győzelmük után megerősödve fókuszálhattak a velenceiekre.



1. ábra

*Luigi Querena festménye a lángoló San Geremia-templomról a nagy csatornán az osztrák bombázás során [15]*

1848 végéig Manin köztársasága visszavonult szárazföldi területre, ezzel elzárták magukat, és úgy döntöttek, hogy az erőforrásokat átcsoportosítják. Ezalatt az osztrákok rendszeresen bombázták a várost a tenger felől.



2. ábra

*A balloon bombs feltételezett kinézete [16]*

A sekély lagúnák és az erős velencei parti védekezés miatt Velence elérhetetlen volt az osztrák tüzérség számára. Ekkor az osztrák parancsnok, Josef von Radetzky és tüzérségi tisztségviselője, Franz von Uchatius hadnagy más eljáráshoz folyamodott. Bombákat csatoltak pilóta nélküli léggömbökhöz és hagyták, hogy a szél azokat Velencébe vezesse [5]. Az időzítőeszközt faszén és zsiros pamutfonal segítségével hozták létre, amely elképzelésük szerint a bombát abban a pillanatban élesítené, amikor az éppen a város felett van. A 2. ábrán egy művész ábrázolása látható arról, hogy miként nézhetett ki a léggömbbomba. Ezzel a módszerrel 1849 júliusában próbálkoztak, és mivel nem tudták irányítani a szél sebességét és irányát, ezért ez akkor megghiúsult, a ballonok visszafelé haladtak és felrobbantották az osztrák erőket.

A műveletet az osztrákok újra megpróbálták augusztus 22-én, a becslések szerint 200 léggömbbel, amelyek mindegyike több mint 14 kg (30 £) robbanóanyagot szállított. Ezúttal néhány ballon elérte a célját, bár a sérülések minimálisak voltak.



3. ábra  
*Daniele Manin* [17]

Daniel Manin (1804–1857) Velencében született zsidó család sarja. Számos nyelvet tanult, zsidó és keresztény vallású könyveket írt. Jogtudott ember lévén elsődleges célja a jogi „küzdelem” volt. 1848-ban ő vezette a Velencei köztársaságot az osztrákok támadása alatt. Ez az újfajta háborús filozófia egy új dimenziót nyitott a reguláris hadseregek közötti harcérintkezésben, mert felvetette annak a lehetőségét, hogy a polgári lakosság jóval a hadseregek elülső vonala mögött a támadás célpontjává váljon. Ezzel a háborús fogalmakhoz hozzá lehetett adni egy új szót, a „légitámadás” kifejezést.



4. ábra  
*Sun-Drone Balloons Bomb Venice* [18]

A velencei léggömbbombázásnak egy fantáziadús ábrázolása mutatja (4. ábra), ahogy a léggömbök bombaként a városra esnek. Az első vesztesek az a néhány szerencsétlen velencei ember, akik a léggömbbombák áldozatai lettek az 1849. július 15-én zajló csatornák ostromában, ahol az osztrákok ostroma alatt a lázadók a Szent Márk Köztársaságot hirdették, hogy függetlenséget teremtsenek a Habsburgok uralkodása felett [6]. Az európai dinasztikus uralkodóházak közül csak kevesen szimpatizáltak a köztársasággal a felkelések és a lázadások hulláma után, amelyek az előző évben sújtották a kontinenst.

Természetesen a katonai légi közlekedés nem volt teljesen új már ebben az időszakban. A franciák kevesebb mint 10 évvel korábban próbálkoztak, amikor a Montgolfier-testvérek által készített forró levegő léggömbje először Párizsba utazott, hogy katonai célokra léggömböket telepítsenek, majd Jean-Marie-Joseph Coutelle, az Aerostatic Corps kapitánya 1792-ben sikeresen repült Flandriában az első koalíciós háború alatt. A repülésből gyűjtött hírszerzés elősegítette a francia győzelmet a Fleurus csatájában.

A napóleoni háborúk utáni években egyre nagyobb érdeklődés mutatkozott a léggömbök irányába, de egyik ország sem dolgozott ki operatív egységet. Néhányan csak tervezgették, hogy léggömböket használnak a bombák eldobásához, de a megbízhatatlan technológiáknál a szél megakadályozta az ilyen jellegű alkalmazásokat.

### *Franz von Uchatius tevékenysége*



5. ábra  
Franz von Uchatius [19]

Franz von Uchatius (5. ábra) egy rendkívül okos osztrák mérnök és tüzérségi tiszt volt. Karrierje során erősebb ötvözeteket fejlesztett ki az ágyúk számára, füstmentes poron dolgozott, és a ballisztikus tanulmányok előadásához 1853-ban egyfajta animációs kivetítőt fejlesztettek ki.

Először felfedezte, hogy a velencei szél megbízhatóan fúj a tenger felől az esetek 90%-ában. Ez azt jelentette, hogy a bombákat hordozó léggömböket tengeri hajókról kellett indítani. Ezzel kizárt minden olyan léggömbfajtát, amelyek nagyobbak annál, mint amelyeket a kezelőszemélyzet kézi erővel vagy kezdetleges emelőgépekkel a hajó fedélzetén manipulálni tudott. Kisméretű, pilóta nélküli léggömböket kellett használnia. Ez vezetett ahhoz a problémához, hogy miként indítsák el és reptessék fel a bombákat, továbbá hogy amikor a szárazföld felé értek, essenek-e rá vagy robbanjanak fel a célterület felett. Ezekről a fontos technikai paramétereikről sajnos nem maradtak fent pontos információk. A brit Reigel Krónika szerint augusztus 22-én a város megtámadása után csak alig néhány leírás maradt meg:

A Soldaten Freund levelet írt Uchatius tüzérségi tisztnek, aki először azt javasolta, hogy győzzék le Velencét ballonnal. Úgy tűnik, hogy a műveleteket felfüggesztették egy erre a célra megfelelő hajó megszerzéséig, amely kizárólag erre a hadműveletre lett volna alkalmas, de kiderült, hogy az néhány kísérlet után tizből kilenc alkalommal a szél miatt meghiúsult. A ballon előkészítését a hajó fedélzetén kellett végezni; és ez volt a helyzet július 15-én is, az alkalomra egy korábbi levélben utalt, amikor két léggömb, amelyeket a Vulkán háborús gőzhajó fedélzetéről engedtek el, megfelelő távolságot ért el Velence felé; és pontosan abban a pillanatban, amelyre számítottak, azaz 23 perc elteltével megtörtént a robbanás.

Az angol brig Frolic kapitánya, majd más velencei személyek leírták, hogy az ilyenfajta szélsőséges terror a lakosságra milyen pusztító morális hatással van. A historikusok nem jegyezték le a ballonok pontos méretét, illetve a ballonokkal szállított robbanóanyag mennyiségét és pontos minőségét. Ami technikailag a legnagyobb innovációnak tekinthető, hogy milyen időzítőt használtak a bombák eldobására vagy a levegőben való felrobbantására, sajnos szintén titok maradt az utókor számára. Egyedül azt tudhatjuk, hogy a hajó pontos helyzetének igazodnia kellett a szél sebességéhez és irányához a ballonok felengedése közben, ezért biztos, hogy egy olyan készüléknek kellett a fedélzeten lennie, amely a szélirány és szélsébség pontos kiszámításához megfelelő referenciát biztosított a ballonok felbocsátásának idejében.

## ***Az első interkontinentális alkalmazás, FU-GO***

A második világháború utolsó éveiben a pilóta nélküli repülés hőskorában alkalmazott technológia „japán köntösbe” bújtatva ismét előtérbe került [7]. Japánban már 1942 áprilisában megkezdődött a sokatmondó „FU-GO” projekt név alatt a nem irányított, pilóta nélküli robbanó és a földön tüzet okozó harci ballonok tervezése.

Korábban a Japán Katonai Tudományos Laboratórium 1933-ban kutatási projektet indított, amelynek célja egy 4 méter átmérőjű, 100 km hatótávolságú ballon megépítése volt. A kísérletek akkor lezárultak, az ötlet 1941-ig, Japán második világháborúba történő belépéséig parkoló pályán volt. Akkor egy kutatócsoport kapott engedélyt arra, hogy fejlesztéseket végezzen hosszú távú repülésre alkalmas léggömbökkel. A ballonprojekt számára újabb lökést adott az az amerikaiak 1942. április 18-ai, Tokió és Yokohama ellen végrehajtott légitámadása. A Hornet anyahajóról felszállt, 16 darab B-25B típusú bombázó akciója megrengette a japán birodalom megtámadhatatlanságába vetett hitet. A katonai vezetés azonnal elrendelte, hogy fokozzák a kutatásokat, és állítsanak elő olyan léggömböket, amelyek alkalmasak bombák hordozására, és elérik velük az amerikai kontinenst [8].

A tervezők remélték, hogy el tudják indítani az új fegyvereiket a saját tengeralattjáróik fedélzetéről, amelyek az Amerikai Egyesült Államok (a továbbiakban: Egyesült Államok) nyugati partvidékén állomásoztak. A Japán Császári Haditengerészet – a fegyverek veszélyességére hivatkozva – megtagadta az együttműködést. A tényleges alkalmazásra várni kellett 1944 közepéig, amikor a szakértők leküzdötték a technológiai problémákat, és például tökéletesítették a léggömbök anyagát selyemből és gumiból.

A megkezdett bevetések során a léggömbök tulajdonságai miatt nem volt mód a pontos célok kiválasztására. Az indítószemélyzet a megfelelő időjárási körülmények esetén a felszerelt léggömböket tudta elindítani, ezek után semmin sem tudtak változtatni, csak remélhették a legjobbakat.

A meteorológiai adatok ismeretében az északi féltekén télen uralkodó széljárásoknak köszönhetően bízhattak benne, hogy a léggömbök valószínűleg Amerikában a kontinensen landolnak és nem Oroszországban vagy Japánban [9]. Megfelelő szélirány és szélesség esetén, a több méter átmérőjű, bombákkal felszerelt, személyzet nélküli léghajók elindultak az amerikai városok irányába, majd amikor azok elérték a megfelelő pozíciójukat, kioldották a rájuk szerelt bombákat, amelyek a földnek csapódva felrobbantak.

Néhány repülőeszköz a terv szerint sikerrel fejezte be feladatát, legtöbbjük azonban el sem érte az amerikai kontinenst, mivel az időközben megforduló szél visszasodorta azokat a japán szárazföld felé. A titkos katonai akció sokáig nem is derült ki, még az Egyesült Államok hatóságai számára sem. Például amikor 1944 telének elején fafaragók papírléggömböket találtak, kőtél és fém eszközökkel Wyoming és Montana területén, először nem is gondolták, hogy egy igazi „interkontinentális” fegyverrel van dolguk. Csak jóval később derült ki, hogy ezek a feltalált eszközök kapcsolhatók a korábbi robbantásokhoz.

A helyszíni szemlén elvégzett nyomrögzítés alapján a ballasztzsákokban megmaradt homokot visszanyerték, és azzal igazságügyi szakértői bizonyítás keretében próbálták meg a ballonok indítóhelyét pontosan meghatározni. Mikro-paleontológus és mineralógus szakértők, az USGS Katonai Geológiai Tanszék (MGU) tudósai megvizsgálták a homokot, és a laboratóriumi vizsgálataik kizárták, hogy a ballonzsákokban talált homok az Egyesült Államok vagy Kanada nyugati partvidékéről, illetve Hawaii-ról származott volna, ezért arra a következtetésre jutottak, hogy a léggömböket Japánból, annak tengerparti területéről indíthatták el. Ezeket a halálos puffertalakra az Egyesült Államok és Kanada nyugati partvidékén 1944 novemberétől 1945 júliusáig került sor.

1945. március 20-án, pénteken, 18:50-kor, a borús időben egy nagy léggömb a dél-dakotai Cheyenne felé repült. A gömb sima, hajlékony papírból készült [10]. A léggömb enyhén északkeleti széllel érkezett, és addig a levegőben maradt, amíg ki nem ürült a hajtóanyag teljesen. A közeli tanyáról több személy is odasétált a helyszínre. Zavarba ejtette őket a léggömb látványa. Soha nem láttak ehhez hasonlót. Jelentős vita után úgy döntöttek, hogy ez nem lehet más, mint egy nagyméretű időjárási léggömb.

Ez a leírás csak egyike volt a számos léggömbincidensnek Dél-Dakotában 1945 első felében. A léggömbök az állam több városának területein értek földet, hol felrobbantak, hol pedig „csak” nagy kiterjedésű tüzeket, katasztrófát okoztak. A hatóságok megtaláltak több léggömböt az állam területén, illetve egy farmgazdaság területén egy olyan fel nem robbant bombát találtak, amelyről feltételezték, hogy az egy FU-GO léggömbből származott.

Egyre több polgári pilóta számolt be a furcsa jelenségekről: „Délután egy léggömb jelent meg az égen, mint egy tökéletes ezüstös gömb, amely szinte láthatatlan volt [10].”

A FU-GO névre keresztelt fegyver egy hidrogénnel töltött ballon volt, amelyből körülbelül 9300 darab készült. Ezeket a nagysebességű Csendes-óceáni légáramlatok vitték három és fél napon keresztül, 250–300 km/h sebességgel a 8000 km távolságra lévő észak-amerikai partokig. Az eszköz 4 db gyújtó- és egy 15 kg-os, repeszromboló bombát hordozott. A támadásokkal a japánok célja a pánikkeltés, a pusztítás és erdőtüzek okozása volt. A támadóballonokból a különböző források szerint csak mintegy 300 darab érte el célját, az amerikai kontinenst, ahol erdőtüzeket okoztak, ezenkívül összesen 6 emberéletet is követeltek.

## Egy magyar kezdeményezés eredményei

Korábban már esett szó róla, hogy a pilóta nélküli járművekkel tüzet, katasztrófát is elő lehet idézni. Ezzel szemben ezek az eszközök arra is alkalmasak lehetnek, hogy a tüzeket mielőbb észleljük és segítségükkel a tűzoltók könnyebben el tudják azt oltani. Magyarországon 2004-ben először került sor arra, hogy valós tűz fölött pilóta nélküli repülőgépet alkalmazva annak jellegzetességeiről a földi egységek számára információkat szolgáltatassunk [11]. A kezdeményezés eredményeként 2006-ban a Szendrői Tűzoltóságon készenlétebe is állítottak ilyen eszközöket, amely igazolja az eszközök hatékonyságát és hasznosságát [12]. Természetes, hogy ezeket az eszközöket nem csak tüzeknél, de nagyobb kiterjedésű katasztrófáknál is alkalmazni lehet, akár a közvetlen felszámolás során [13], akár az azt követő újjáépítés, helyreállítás időszakában [14]. Ezeknek az alkalmazásoknak a részletes kidolgozása még hátra van, de ettől függetlenül igazolja a pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának hasznosságát.

## Következtetések és összegzés

A bemutatott történelmi példákon keresztül jól látszik, hogy a technikai fejlődés a pilóta nélküli légi járművek hadászati célú fejlesztésére és a velük megoldható feladatok ellátására megalapozott. A mai kor emberének a hadtörténelmi érdekességeken kívül a közelmúltban jellemzővé váló aszimmetrikus hadviselés frontvonalaiából a tömegtájékoztatásban megjelenő információk lehetnek áthallásosak. A pilóta nélküli légi járművek hadászati alkalmazásai, amelyeket a cikkemben leginkább feldolgoztam, ráirányítják az olvasó figyelmét arra a helyzetre, hogy miközben a reguláris hadseregek törekszenek a korban a legjobb műszaki színvonalon elérhető, pilóta nélküli légi járművek beszerzésére, addig a velük szemben harcoló nem reguláris erők számára a lehető legegyszerűbb – ezekhez képest, mondhatjuk, primitív – harceszközök alkalmazása kézenfekvő és költséghatékony. Egyszerűségük ellenére komoly veszélyt jelenthetnek a civil lakosságra vagy a szembenálló reguláris fegyveres erőkre. A történelmi példák ma is alkalmazhatók különösebben nem nagy anyagi ráfordítással, szerény mértékű fizikai, kémiai és meteorológiai ismeretek felhasználásával, amelyek ráadásul az interneten könnyen elérhetőek.

Összefoglalásképpen kijelenthető, hogy a bonyolult, korszerű pilóta nélküli légi járművek felhasználása során fel kell készülni az ellenfél által kényszerűségből használt, nagyon egyszerű működési elvű, pilóta nélküli légi járművek elleni védekezésre, hogy az ezek által hordozott veszélyeket a lehető legteljesebb körben ki lehessen küszöbölni, illetve ne lehessen ezeket a civil lakosság megfélemlítésére széleskörűen felhasználni. Ezen túlmenően észre kell vennünk az egyéb civil alkalmazások lehetőségeit, és azokat mielőbb támogatni és fejleszteni kell.

Javaslom, hogy a pilóta nélküli légi járművek harci alkalmazásainak fejlesztése terjedjen ki a technológiailag sokkal fejletlenebb, egyszerű működési elvű eszközök elleni hatékony védekezés kialakítására is, mert a feldolgozott szakirodalmi példákon keresztül könnyen belátható, hogy az itt bemutatott harctechnikák bárhol, bármikor könnyen előállíthatók és korlátozás nélkül bevethetők.

## Hivatkozások

- [1] M. Palik szerk., *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Budapest: Nemzeti Közszerzői Társaság, 2013.
- [2] Wikipedia The Free Encyclopedia, "Gryazev-Shipunov GSh-30-2," [Online]. Elérhető: [http://en.wikipedia.org/wiki/Gryazev-Shipunov\\_GSh-30-2](http://en.wikipedia.org/wiki/Gryazev-Shipunov_GSh-30-2) (Letöltve: 2019. 06. 19.)
- [3] B. Holman, "The first air bomb: Venice, 15 July 1849." *airminded.org*, 22 Aug. 2009, [Online]. Elérhető: [https://airminded.org/2009/08/22/the-first-air-bomb-venice-15-july-1849/#identifier\\_0\\_2398](https://airminded.org/2009/08/22/the-first-air-bomb-venice-15-july-1849/#identifier_0_2398) (Letöltve: 2019. 06. 19.)
- [4] "Italy On This Day," [Online]. Elérhető: [www.italyonthisday.com/2017/08/historys-first-air-raid-Venice-Republic-of-San-Marco-Austria.html](http://www.italyonthisday.com/2017/08/historys-first-air-raid-Venice-Republic-of-San-Marco-Austria.html) (Letöltve: 2019. 06. 19.)
- [5] Wikipedia the Free Encyclopedia, "Franz von Uchatius," [Online]. Elérhető: [https://en.wikipedia.org/wiki/Franz\\_von\\_Uchatius](https://en.wikipedia.org/wiki/Franz_von_Uchatius) (Letöltve: 2019. 06. 19.)
- [6] "Nothing New Under the Sun – Drone Balloons Bomb Venice," *patrickmurfin.blogspot.com*, [Online]. Elérhető: <http://patrickmurfin.blogspot.com/2016/08/nothing-new-under-sundrone-balloons.html> (Letöltve: 2019. 06. 19.)
- [7] "Balloon bomb poster" [Online]. Elérhető: [www.hamilton.edu/documents/Balloonbombposter.pdf](http://www.hamilton.edu/documents/Balloonbombposter.pdf) (Letöltve: 2019. 06. 19.)
- [8] R. C. Mikes, "Japan's World War II Balloon Bomb Attacks on North America," *Smithsonian Annals of Flight*, no. 9, 1973. [Online]. Elérhető: [https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/18679/SAoF-0009-Lo\\_res.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/18679/SAoF-0009-Lo_res.pdf?sequence=3&isAllowed=y) (Letöltve: 2019. 06. 19.)
- [9] S. Maruf, "Incredible Journey of a Japanese Balloon Bomb," 6 June 2017, *ltaflightmagazine.com*, [Online]. Elérhető: [www.ltaflightmagazine.com/japaneseballoonbombjourney/](http://www.ltaflightmagazine.com/japaneseballoonbombjourney/) (Letöltve: 2019. 06. 19.)
- [10] L. H. Larsen, "War Balloons over the Prairie: The Japanese Invasion of South Dakota," [Online]. Elérhető: [www.sdhspress.com/journal/south-dakota-history-9-2/war-balloons-over-the-prairie-the-japanese-invasion-of-south-dakota/vol-09-no-2-war-balloons-over-the-prairie.pdf](http://www.sdhspress.com/journal/south-dakota-history-9-2/war-balloons-over-the-prairie-the-japanese-invasion-of-south-dakota/vol-09-no-2-war-balloons-over-the-prairie.pdf) (Letöltve: 2019. 06. 19.)
- [11] Á. Restás, "Forest Fire Management Supporting by UAV Based Air Reconnaissance: Results of Szendro Fire Department," 2006 First International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area, Havanna, Kuba, 2006, pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1109/iseima.2006.345050>
- [12] Á. Restás, "The regulation Unmanned Aerial Vehicle of the Szendro Fire Department Supporting Fighting Against Forest Fires" *Forest Ecology and Management*, vol. 234, no. S233, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.260>
- [13] M. Palik és Á. Restás, „A pilóta nélküli légijárművek alkalmazásának lehetőségei az árvízi védekezésben,” *Repüléstudományi Közlemények*, 26. évf. 3. sz. pp. 57–65. 2014.

- [14] J. Ambrusz és Á. Muhoray, „A 2001. évi beregi árvíz következményeinek felszámolása, a kistérség rehabilitációjának megszervezése,” *Védelem Tudomány*, 1. évf. 1. sz. pp. 108–125. 2016.
- [15] „Luigi Querena festménye a lángoló San Geremia-templomról a nagy csatornán az osztrák bombázás során,” [Online]. Elérhető: [www.italyonthisday.com/2017/08/historys-first-air-raid-Venice-Republic-of-San-Marco-Austria.html](http://www.italyonthisday.com/2017/08/historys-first-air-raid-Venice-Republic-of-San-Marco-Austria.html)
- [16] 2. kép „A balloon bombs feltételezett kinézete,” [Online]. Elérhető: [www.italyonthisday.com/2017/08/historys-first-air-raid-Venice-Republic-of-San-Marco-Austria.html](http://www.italyonthisday.com/2017/08/historys-first-air-raid-Venice-Republic-of-San-Marco-Austria.html)
- [17] Wikipedia the Free Encyclopedia, “Daniele Manin,” [Online]. Elérhető: [https://en.wikipedia.org/wiki/Daniele\\_Manin](https://en.wikipedia.org/wiki/Daniele_Manin)
- [18] “Nothing New Under the Sun – Drone Balloons Bomb Venice,” *patrickmurfin.blogspot.com*, [Online]. Elérhető: <http://patrickmurfin.blogspot.com/2016/08/nothing-new-under-sundrone-balloons.html> (Letöltve: 2019. 06. 19.)
- [19] Wikipedia the Free Encyclopedia, “Franz von Uchatius,” [Online]. Elérhető: [https://en.wikipedia.org/wiki/Franz\\_von\\_Uchatius](https://en.wikipedia.org/wiki/Franz_von_Uchatius) (Letöltve: 2019. 06. 19.)

## HISTORICAL MOMENTS OF UAV APPLICATIONS AND THE CONCLUSIONS

*Ensuring air defence in a country provides a constant challenge to all individuals and organisations carrying out such tasks. One of its particular areas is the all-around protection against explosive devices installed on low-altitude UAVs, referred to as air defence activity.*

*This article provides a detailed analysis of the aspects of the organisation and the initial operation of municipal air defence. Approaching from a historical perspective and regarding the failures of first applications, it will focus on social importance.*

*The article is based on the study and analysis of Hungarian and international professional literature related to the topic and the author's experience in the field of military history.*

*As a result of this article, it can be declared, that deaths and other accidents in the air by strikes of asymmetric warfare could be prevented in the future by building up a mobile air defence system on a regional basis. That could be deployed as a quick response unit against UAVs.*

**Keywords:** UAV, technical history, mobile air defence system

---

Dr. Szalkai István  
doktorandusz hallgató  
Nemzeti Közsolgálati Egyetem  
Katonai Műszaki Doktori Iskola  
[istvan.szalkai.dr@gmail.com](mailto:istvan.szalkai.dr@gmail.com)  
<https://orcid.org/000-0003-4667-9525>

Dr. István Szalkai  
PhD student  
National University of Public Service  
Doctoral School of Military Engineering  
[istvan.szalkai.dr@gmail.com](mailto:istvan.szalkai.dr@gmail.com)  
<https://orcid.org/000-0003-4667-9525>



VÁKÁT OLDAL

Nagy László János

## A harci helikopterek túlélőképesség-növelésének lehetőségei

*A Zrínyi 2026 Honvédelmi és haderőfejlesztési program olyan mértékű képességfejlesztést tesz lehetővé, amely páratlan a Magyar Honvédség történelmében. 2018-ban a helikopteres kultúra megújulása megkezdődött a könnyű- és közepes, többcélú helikopterek beszerzésével, amely csak akkor válhat teljessé, ha folytatásként a harcihelikopter-képesség fejlesztésére is sor kerül. Ezen eszközök harci hatékonysága és a megfelelő műszaki megbízhatósága mellett a helikoptervezető állomány, valamint maga a harci helikopter sérülékenységének csökkentése kiemelt jelentőséggel bír. A légierő számára leginkább megfelelő típus kiválasztása során elengedhetetlen vizsgálni azon konstrukciós kialakításokat, amelyekkel a harci helikopterek túlélőképessége növelhető.*

**Kulcsszavak:** harci helikopter, túlélőképesség, képességfejlesztés, „stealth”-technológia, konstrukciós kialakítás

### Bevezetés

Hazánk NATO-csatlakozását követően, annak ellenére, hogy vállaltuk a tagsággal járó kötelezettségeket (a GDP<sup>1</sup> 2 %-a védelmi kiadásokra), az ország gazdasági teljesítőképességének következtében haditechnikai eszközök beszerzésére hosszú éveken át nem volt lehetőség. A haditechnikai eszközök jelentős részét kivonták, aminek eredményeként sok esetben fegyvernemek szűntek meg. A hazai helikopterképességben bekövetkezett negatív változások jól tükrözik a hosszú éveken át tartó forráshiányos működés eredményét. A jelenleg meglévő kapacitás – mindazok ellenére, hogy az ipari nagyjavításoknak köszönhetően növekedett/növekszik a rendelkezésre álló géplétszám – teljes mértékben nem biztosítja a helikopterképességgel szemben támasztott követelményeket.

A Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program (a továbbiakban: Zrínyi 2026 HHP) eredményeként a Magyar Honvédség jelentős fejlesztéseket folytat. A légierőt érintően első lépésként Mi-17 típusú szállítóhelikopterek és Mi-24 típusú harci helikopterek ipari nagyjavítására került sor, amely jelentősen hozzájárul a helikopterképesség növeléséhez. Önmagában a meglévő eszközök minimális szintű modernizálással egybekötött ipari nagyjavítása véglegesen megoldást nem eredményezhet, ezért hosszú távú megoldást csak az új

<sup>1</sup> GDP: Gross Domestic Product (bruttó hazai termék)

helikopterek vásárlása jelenthet. 2018-ban a helikopterképesség-fejlesztés első fázisaként 20 db H145M típusú könnyű, többcélú, második fázisaként pedig 16 db H225M közepes, többcélú helikopter beszerzésére vonatkozó szerződést írtak alá. Ez a folyamat csak akkor válik teljessé, ha a későbbiekben sor kerül új, a kor kihívásainak megfelelő harci helikopterek beszerzésére is. Napjainkban a haditechnikai rendszerek alkalmazása során kiemelt jelentőséggel bír a költséghatékony üzemeltetés, de természetesen a kiindulást továbbra is a hadműveleti követelmények és az ezekből származtatott harcászati- műszaki paraméterek meghatározása jelenti, ezért e jellemzők figyelembevétele a beszerzési eljárás során nem elhanyagolandó. Hadfelszerelési rendszerek beszerzése során akkor járunk el helyesen, ha első lépésként beazonosítjuk azokat a jellemzőket, amelyek segítségével összehasonlítható, majd a későbbiekben kiválasztható a számunkra legmegfelelőbb haditechnikai eszköz. Az előzőekben említett elveket a harci helikopterek beszerzése során is követni kell, amelyek esetében a csapásmérő képesség és a műszaki megbízhatóság mellett a harci túlélőképesség az egyik legmeghatározóbb tulajdonság, amelynek összetevőit vizsgálni szükséges. Jelen tanulmányban a helikoptervezető állomány túlélőképességének növelését elősegítő, valamint maga a helikopter sérülékenységét csökkentő, néhány jellegzetes technikai megoldást kívánok bemutatni.

## A harci helikopter főbb ismérvei

A témával kapcsolatban az egyik leggyakrabban felmerülő alapvető kérdés, hogy mit is nevezhetünk harci helikopternek. Attól, hogy rendelkezünk egy felfegyverzett, viszonylag jól manőverező, könnyű vagy közepes, rendszerint többcélú katonai helikopterrel – mint például a Zrínyi 2026 HHP keretében beszerzésre tervezett H145M „Hforce”, vagy a H225M „Special Ops” változata –, még nem beszélhetünk harci helikopterről. Kétségtelen, hogy az így kialakított gépek alkalmazhatók ugyan szárazföldi csapatok hatékony tűztámogatására, valamint ellenséges, könnyű páncélozott harcjárművek és élő erők pusztítására, de csak meghatározott körülmények és korlátozások mellett.

A harci helikopterek tekintetében már az egyértelmű definiálás is kérdéseket vet fel. Egyfajta definíció alapján [1]: „An attack helicopter is an armed helicopter with the primary role of an attack aircraft, with the capability of engaging targets on the ground, such as enemy infantry and armored fighting vehicles. Due to their heavy armament they are sometimes called helicopter gunships.” Szabad fordításban, ennek megfelelően: a harci helikopter egy olyan felfegyverzett, a támadó repülőgépek elsődleges feladataival rendelkező helikopter, amely képes földi célok, mint például ellenséges tüzérség, páncélozott harcjárművek elleni csapásmérésre. A jelentős fegyverzete miatt néha repülő tankoknak is nevezik (a szerző).

Egy másik értelmezésben [13]: A „harc helikopter” fogalma olyan forgószárnyú légi járművet jelent, amelyet célpontok leküzdésére fegyvereztek és szereltek fel, vagy más katonai feladatok végrehajtására szereltek fel. A „harc helikopter” fogalma támadó helikoptereket és harci-támogató helikoptereket foglal magában. A „harc helikopter” fogalma nem foglalja magában a nem-felfegyverzett szállítóhelikoptereket.

A harc feladat végrehajtása során a fontossági sorrend a következő egy harci helikopter számára:

- tevékenység a közvetlenül fenyegető ellenséges erőkkel szemben;
- tevékenység a saját erőket (raj, század szint) fenyegető ellenséges erőkkel szemben;

- tevékenység az egyéb saját/szövetséges csapatokat fenyegető ellenséges erőkkel szemben;
- tevékenység az eredeti cél érdekében (ellenséges légvédelem, parancsnoki járművek, harckocsik, műszaki járművek, páncélozott eszközök tűzzel való pusztítása) [2].

Mindez azt jelenti, hogy a harci helikopterek esetében az első és legfontosabb a saját erő és a technikai eszközök védelme. Ennek megfelelően mindent meg kell tenni annak érdekében, hogy az igencsak költségesen kiképzett, felkészített hajózó állomány és a nagy értékű haditechnikai eszközök védelme érdekében minden lehetséges opciót beazonosítsanak és a technológia adta korlátokon belül ezen opciókra megoldásokat találjanak.

Ennek megfelelően egy részletesebb megközelítésben a harci helikopter:<sup>2</sup> egy aerodinamikus, forgószárnyas, jól manőverező repülőeszköz, amelyet irányítható és nem irányítható rakétákkal, az ellenség páncélos kötelékeinek megbontására hoztak létre. Fejlődésével feladatai kibővültek a fegyvertelen szállító, kutató-mentő helikopterek kísérésével, az ellenség szárazföldi csapatainak, légvédelmének közvetlen támadásával, mélységben is, valamint légi harc megvívásával elsősorban alacsony sebességű légi célok, például helikopterek, de esetenként vadászrepülőgépek ellen is. Mindezen feladatok végrehajtásához megfelelő tűz-, rakéta- és bombázófegyverrel, aktív és passzív védelemmel, páncélzattal, valamint magas fokú túlélési tartalékkal rendelkezik [3].

Ezeket a meghatározásokat alapul véve, a valóban korszerű harci helikopter konstrukciónak biztosított harcászati-technikai ismérvei [4]:

- a manőver (beleértve a légi harc megvívásának képességét ellenséges harci helikopterrel, szükség szerint önvédelemből merev szárnyú harci repülőgéppel is!);
- a fegyverzeti és avionikai, valamint;
- az önvédelmi képességekből

tevékenységük össze. Ezek közül az első kettővel – ha eltérő mértékben is – valamennyi helikoptertípus rendelkezik, az utóbbi viszont érdemben csak a tényleges harci helikopterek sajátja. A komplex önvédelem (páncélzat, alacsony felderíthetőség, tűz- és robbanásvédelem, lezuhanási biztonság, magas harci túlélőképesség) kiemelt fontosságára az 1970-es évektől folytatott háborúk tapasztalatai hívták fel a figyelmet [4].

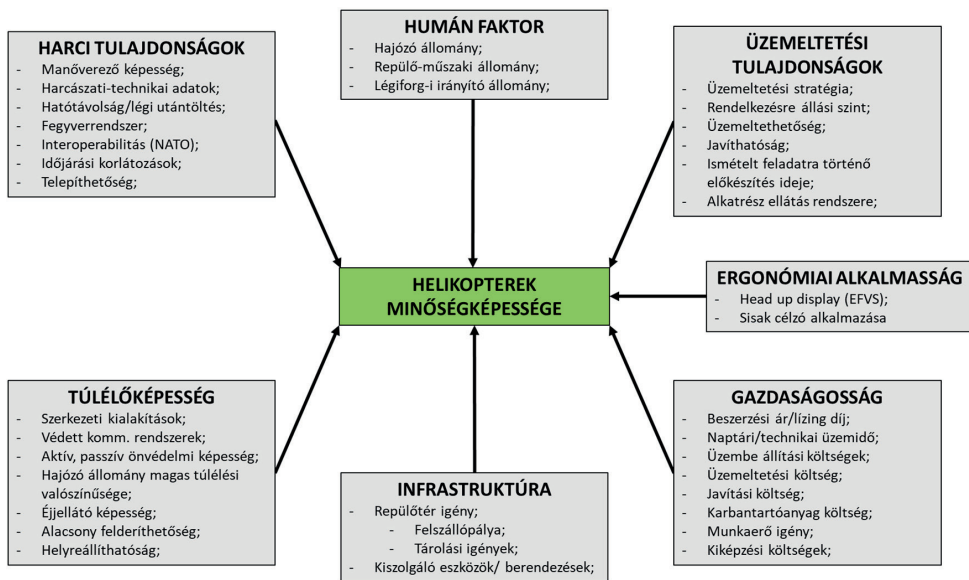
## A harci helikopterekkel szemben támasztott követelmények

A múlt század háborúi és fegyveres konfliktusai olyan tapasztalatokhoz juttatták a fegyvergyártókat, amelyekhez modellezett körülmények között egyáltalán nem vagy csak nagyon nehezen juthattak volna hozzá. A harci helikopterek fejlesztése a 20. század második felére tehető. A koreai és vietnámi háborúban szerzett tapasztalatok alapján kialakult egy egységnek tekinthető követelményrendszer az új kategóriájú haditechnikai eszközökkel szemben.

A helikopterek rendszerbe állítása/beszerzése előtt kiemelt jelentőséggel bír, hogy a meghatározott feladatok maximális végrehajthatósága érdekében összemérjük a követelményrendszert

<sup>2</sup> Az első harci helikopter az 1960-ban megjelent amerikai AH-1 „Cobra” volt – igaz, ez nem minden jegyében felelt meg a kritériumoknak –, amelyet rövid időn belül a Mi-24A követett.

és az egyes repülőeszközök paramétereit. A haditechnikai eszközök minőségének, megfelelőségének vizsgálatában, az alkalmazott szempontok megválasztásában hangsúlyozottan a komplexitásra kell törekedni. Turcsányi szerint [5] a minőség mellett a minőségügyben kialakult a megfelelőség fogalma. Ez azt jelenti, hogy meghatározzuk a haditechnikai eszköz bizonyos mérhető, megfigyelhető tulajdonságainak értékét, a tulajdonsáértékekre követelményeket írunk elő, és megállapítjuk, hogy az eszköz kielégíti-e az adott előírásokat. Az alkalmazhatóság meghatározásához tehát ki kell dolgozni az adott eszközre (légi járműre) vonatkozó harcászati és műszaki követelményeket. A megfelelőség és minőség megállapításának eredményes végrehajtása érdekében – felhasználva a szakirodalomban [5] bemutatott modellt, valamint a korábbi kutatásaimban [6], [7] ismertetett képességkritériumokat – azonosítottam azokat a tényezőket, amelyek teljes élettartamra vonatkozóan meghatározzák a helikopterek minőségképességét, a mérhető paraméterek tekintetében pedig a megfelelőséget. A kidolgozott modellt, amely az 1. ábrán látható, nagymértékben segít meghatározni a helikopterek harcászati és műszaki követelményrendszerét.



EFVS: enhanced flight vision system

1. ábra

Modell a helikopterek megfelelőségének és minőségképességének meghatározásához szükséges szempontrendszer bemutatására [5]

A modellben törekedtem megjeleníteni minden olyan szempontot, amely a helikopterek megfelelőségének és minőségképességének meghatározásához alapvetően szükséges.

A bemutatott minőségképesség-tulajdonságok önmagukban vagy akár egy komplex rendszert alkotva még nem elegendőek ahhoz, hogy egy harci helikopter maradéktalanul megfeleljen a legmagasabb követelményeknek. Ehhez az is elengedhetetlen, hogy a beépített aktív és passzív védelme, a fegyverzete és minden egyéb rendszere megbízhatóan szolgálja

azt a feladatot, amire a harci helikoptert tervezték. Hiába rendelkezik egy helikopter a legkorszerűbb, nagy pontosságú fegyverekkel, ha egyéb rendszerei, berendezései vagy szerkezeti kialakítása, például a forgószárnyak lövésállósága vagy a berendezések páncélvédelme stb. nem teszik lehetővé, hogy huzamosabb ideig a levegőben maradjon. A fentebb megfogalmazottaknak megfelelően felírhatjuk a harci helikopter általános hatékonysági kritériumát:

$$W = \prod_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

ahol:  $W$  – a harci helikopter hatékonysági mutatója;

$P_i$  – elemi feltételes valószínűségek, amelyek az egyes berendezések, rendszerek megbízhatóságát, a feladat végrehajtásának, a cél felderítésének stb. valószínűségét jellemzik. Ha a fenti összefüggésben szereplő elemi feltételes valószínűség ( $P_i$ ) helyére az eredményes feladatvégrehajtás szempontjából legfontosabb mutatókat helyettesítjük be, akkor a következő összefüggést kapjuk:

$$W = P_m \cdot P_t \cdot P_{mb} \quad (2)$$

ahol:  $P_m$  – csapásmérő képesség (az ellenséges cél megsemmisítésének valószínűsége);

$P_t$  – a túlélőképesség (az eredményes önvédelem valószínűsége);

$P_{mb}$  – a műszaki megbízhatóság (a hibamentes működés valószínűsége) [8].

A *csapásmérő képesség* függ a célfelderítés, a felszíni célok leküzdésének és az ellenséges helikopterekkel vívott légi harc sikeres megvívásának valószínűségétől, valamint a fedélzeti fegyverek harcászati technikai jellemzőitől, illetve a fegyvervezérlő rendszer hatékonyságától és a személyzet kiképzettségétől, pszichofizikai állapotától [9]. Az elmúlt két évtizedben – az 1970-es évek után, nagyobb szériában gyártott – szinte valamennyi katonai repülőeszköz csapásmérő képességének növelésére irányuló korszerűsítési eljárások önálló iparágga nőttek ki magukat nyugaton és keleten egyaránt.

A *túlélőképesség* (az eredményes önvédelem valószínűsége) függ a passzív és aktív önvédelmi rendszerek hatékonyságától, a szerkezeti kialakításoktól, amelyek növelik az alacsony felderíthetőséget, mint például a lopakodó (stealth) technológia alkalmazása. A védett kommunikációs rendszerek alkalmazása, a hajózó állomány túlélési képességének szintje, az éjjellátó képesség kialakítása, a gyors helyreállíthatóság, egyes rendszerek multiplikálása, valamint a repüléstechnikai és harcászati eljárások helyes megválasztása és alkalmazása szintén fontos elemek e képesség hatékonyságának növelése során.

A *műszaki megbízhatóság*<sup>3</sup> függ az üzemeltethetőségtől, (tábori körülmények között is) a technológizáltságtól, a diagnosztizálhatóságtól, a javíthatóságtól, a javításközi üzemidőtől, valamint a két meghibásodás közötti repült időtől.

<sup>3</sup> „Műszaki megbízhatóság: a haditechnikai eszköz szerkezetének (rendszerének, berendezésének, elemének) vagy akár egész üzemeltetési (üzembentartási) rendszerének azon tulajdonsága, hogy az előírt funkciót teljesíti, miközben meghatározott üzemeltetési mutatók értékeit az üzemeltetés, a műszaki karbantartás, a javítás, a tárolás és a szállítás előre megadott üzemmódjai feltételeinek megfelelő, előírt határok között, időben megőrzi.” [10]

Természetesen a felsorolt három valószínűségi értéket még tovább lehet bontani, de ez nem befolyásolja azt, hogy a harci helikopter hatékonysági mutatója egyenes arányban van a műszaki megbízhatóság, a túlélés és a cél megsemmisítésének valószínűségével. Bármelyik jellemző kiemelésével és annak jelentős ráfordítással történő értéknövelése esetén sem fog a teljes hatékonysági mutató olyan mértékben emelkedni, hogy az meghatározó legyen. Ennél lényegesebb mindhárom kellően magas szintre emelése. Jelen tanulmányban a továbbiakban a három közül csak a harci helikopterek túlélőképességének növelését elősegítő szerkezeti megoldásokról lesz szó.

## A harci helikopterek túlélőképességének növelése

Az elmúlt évtizedek háborús tapasztalatai – köszönhetően a jelentős elektrotechnikai fejlődésnek – azt mutatják, hogy a lokátorok, hőpelengátorok, lézerek segítségével felderített, megcélzott repülőeszközök megsemmisítési valószínűsége nagyságrenddel nagyobb, mint ha ezt egyszerű, vizuális módszerekkel teszik.

1. táblázat  
A megsemmisítés folyamata [8]

A megsemmisítés folyamata		
<i>Észlelés, azonosítás</i>	<i>Célzás, tüzmegnyitás (rávezetés)</i>	<i>Találat (megsemmisülés, sérülés)</i>
A megsemmisítés elkerülésének lehetőségei		
<p><b>R-L tartomány:</b> EHC -zavarás, dipól-szórás, műcél kibocsátás.</p> <p><b>Vizuális tartomány:</b> álcázó és zavaró festés.</p> <p><b>Auditív tartomány:</b> alacsony zajszintű hajtóművek, légcsavarok, forgószárnyak, reduktorok, berendezések.</p>	<p><b>Infra tartomány:</b> a külső, felmelegedett sárkányelemek és a hajtóműgázok hűtése, infracsapda alkalmazása.</p>	<p><b>Passzív:</b> páncélozás, megerősített sárkány teherviselő rendszer, elfolyó tüzelőanyag és hidraulika szabadba vezetése, „nem gyúlékony”, nehezen párolgó vagy zselatinos üzemanyag és hidraulikafolyadék alkalmazása és semleges gázokkal történő átfűvátása, R-L visszaverő felület csökkentése.</p> <p><b>Aktív:</b> tűzoltó és robbanás megelőző rendszerek, „önforrasztó” üzemanyagtartályok bennük semleges gáz és porózus töltőanyag, a fedélzeti sárkány és avionikai rendszerek többszörözése és rezerválása, külső kormányservek rekonfigurációja.</p>
<p><b>Repüléstechnikai:</b> földközeli repülési pálya, tereptárgyak fedezéke</p>	<p><b>Repüléstechnikai:</b> intenzív, manőverező repülés</p>	<p><b>Repüléstechnikai:</b> vész repülési üzemmód, kényszerleszállás, katapultálás</p>
<p><b>Teljes spektrum:</b> komplex stealthtechnológia</p>		

Ennek következményeként szükségessé vált a *felderítést, észlelést kizáró új módszerek* kutatása, e tevékenység tudományos igényű komplex vizsgálata. A jelenlegi megsemmisítő-eszközök hatékonyságának ismeretében – azt a gondolatsort követve, hogy *amit nem tudunk megcélzni, arra nem tüzelhetünk, így el sem találhatjuk(!)* – igazán megnyugtató megoldást csak az első

elem (*felderítés, észlelés*) konstrukciós kiküszöbölése jelenthet. Az önvédelmi képességek elemzéséhez, illetve technikai megvalósításuk (megvalósíthatóságuk) értékeléséhez a megsemmisítés folyamatát szükséges áttekinteni az 1. táblázat segítségével. A táblázat alapján megállapítható, hogy a megsemmisítés minden fázisára (*felderítés* → *észlelés, azonosítás* → *célzás, fegyverműködtetés (rávezetés)* → *találat*) létezik valamilyen aktív vagy passzív konstrukciós védelmi megoldás (páncélozás, zajcsökkentés, lokátorhullámok elnyelése, szétszórása, hajtóműhűtés, rendszerek duplikálása, árnyékolása, dipól- és infracsapda alkalmazása, rádióelektronikai zavarás stb.) [8].

## Szerkezeti megoldások a túlélőképesség növelésére

### Felderíthetőség csökkentése

Korunk hadviselésére történő felkészülés során a gyártók és természetesen az alkalmazók is kiemelt figyelmet fordítanak az észlelés, azonosítás elkerülésére, de ha figyelembe vesszük a napjainkra kifejlesztett felderítőeszközök által biztosított lehetőségeket, könnyen beláthatjuk, hogy ezek a megoldások alapvető, de nem megfelelő védelemet biztosítanak a harctevékenységek során.

A mai korszerű helikopterek – itt nem csak a harci helikopterek értendők – aktív és passzív önvédelme biztosítja az avionikai eszközök, elsősorban a kommunikációs és a célzó-navigációs komplexumba tartozó eszközök zavarvédetségét. Ehhez elengedhetetlenül szükségesek a különböző besugárzásjelző berendezések, amelyek közül a korszerűbbek az ellenség eszközei által kisugárzott EMH<sup>4</sup> hullámhosszától és jellegétől függően figyelmeztethetik a helikoptervezetőt az eszköz veszélyességi szintjére. A 2. ábrán látható, hogy különböző felderítőeszközökkel, beleértve az ABV<sup>5</sup> fegyvereket, valamint az emberi érzékszerveket is, milyen felderíthetőségi lehetőségei vannak bizonyos típusú helikoptereknek. Az ábra a RAH-66 „Comanche” harci helikopter lehetőségeit volt hivatott bizonyítani. A helikopter fejlesztését törölték még 2004 februárjában [3].



2. ábra  
RAH-66 helikopter [11]

<sup>4</sup> EMH: elektromos mágneses hullám

<sup>5</sup> ABV: atom, biológiai és vegyi.

A 2. táblázatból vizuálisan is kiderül mindaz, ami az amerikai LHX<sup>6</sup>-program célja volt. Egy olyan korszerű, nehezen felderíthető helikopter megalkotása, amely paramétereiben felülmúlja a korábbiakat, és ezzel olyan potenciális előnyhöz jut, amellyel azok nem rendelkeznek. Az összehasonlításban, a RAH-66 „Comanche” helikopter jelenti az egy egységet és a következő feltételek és eszközök esetében történik a felderítés:

- rádiólokátor: 10 GHz-es frekvenciatartományban, a helikopter szemből közeledik;
- infravörös: a Stinger rakéta infravörös célkoordinátorát véve alapul, a helikopter oldalnézeti sziluettjét vizsgálva és elhanyagolva a Nap sugárzását;
- akusztikus: mérsékelt környezeti zajjal számolva, a helikopter szemből közeledik;
- vizuális: szabad szemmel, terepháttérrel.

2. táblázat  
RAH-66 helikopter felderíthetősége [3]

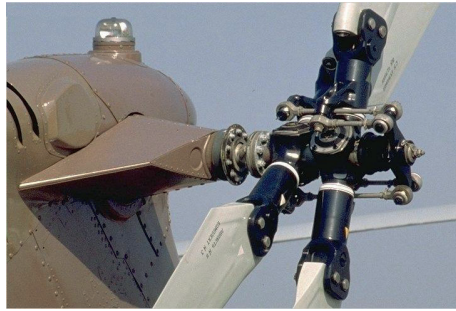
A felderítés típusa	OH-58D	RAH-66	AH-64
<b>Rádiólokátor:</b> 10 GHz-es frekvencia tartományban, a helikopter szemből közeledik.	263X	X	663X
<b>Infravörös:</b> a Stinger rakéta infravörös célkoordinátorát véve alapul, a helikopter oldalnézeti sziluettjét vizsgálva és elhanyagolva a Nap sugárzását.	1,15X	X	2,65X
<b>Akusztikus:</b> mérsékelt környezeti zajjal számolva, a helikopter szemből közeledik.	1,1X	X	1,6X
<b>Vizuális:</b> szabad szemmel, terepháttérrel.	1,2	X	1,8X

A táblázat alapján megállapítható, hogy a RAH-66 helikopter lényegesen felülmúlta az összehasonlításba bevont gépeket. Más típusú helikopterekről nem található hasonló összehasonlítás. Ennek több oka is lehet. Egyrészt, a gyártók féltve őrzött titka, mert esetleg nem túl jók a helikopter hasonló paramétereit, másrészt, nem végeztek hasonló kísérleteket és így nem rendelkeznek információval [3]. Összességében még mindig megállapítható, hogy a harci helikopterek túlélőképességének növelésére a klimatikus viszonyoknak, évszaknak, földrajzi övezetnek megfelelő álcázó és zavaró festés nem ad megfelelő megoldást. Bár napjainkra az álcázó festés (háló) színösszetevőinek mennyiségét, az alkalmazott foltok alakját, méretarányát tudományos módszerekkel határozzák meg, az így elérhető felderíthetőségcsökkenés korlátozott, elsősorban nagyobb távolságról, tereptárgyak részleges fedezékéből kamatoztatható. Lényeges szempont viszont, hogy nem elegendő a megfelelő festék és festési minta alkalmazása a felderíthetőség csökkentése érdekében. A megfelelő hatékonyság érdekében a fülkeüvegezés fényvisszaverő képességét is minimalizálni szükséges.

A helikopterek *auditív felderíthetőségének csökkentése* fontos, de csak másodlagos cél, mivel hangjelek alapján vezérelt (rávezetett) automatikus fegyverek nem léteznek. Természetesen az alacsonyabb zajszint a kézfegyverekkel szemben javítja a túlélés esélyeit. E területen azonban csak részleges eredmények érhetők el, mivel a legnagyobb intenzitású zajforrások többsége éppen a helikopter alapműködéséből adódó, nagy tömegű levegőt mozgató, nagy sebességgel forgó berendezések, amelyek:

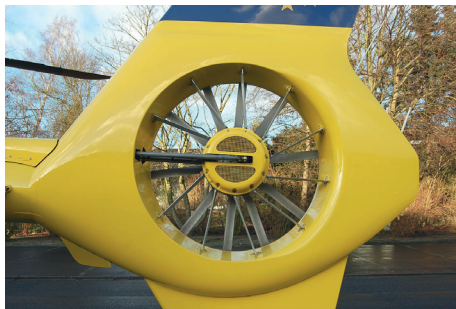
- egyik részénél (hajtóművek, reduktorok) csak nagy tömegű hangszigetelő rétegek beépítése után lehetne részleges eredményt elérni;

<sup>6</sup> LHX: Light Helicopter Experimental (könnyű, kísérleti helikopter).



3. ábra  
*X* elrendezésű faroklégcsavar [8]

- a másik részénél (forgószárnyak, faroklégcsavarok) direkt hangszigetelésre nincs is mód, így csak a speciális kialakítás (például nagyobb lapátszám, „X” alakú faroklégcsavar [3. ábra], fenestron<sup>7</sup> [4. ábra] stb.) eredményezhet viszonylagos zajcsökkenést.



4. ábra  
*Fenestron* [8]

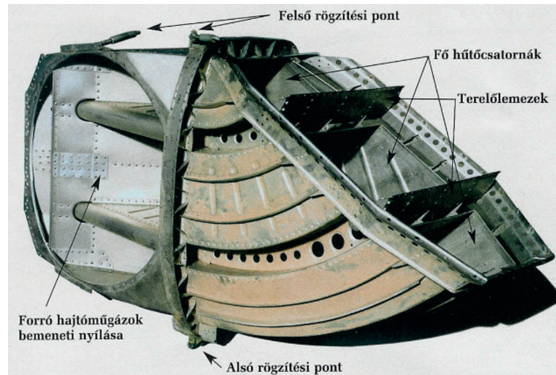
A tér egy adott helyén állva, a háttér minden pontjáról különböző hullámhosszon és intenzitással érkezik infravörös információ, amely digitalizált képképzésre (is) alkalmas, illetve matematikai módszerrel feldolgozható, ezáltal elősegítve a légi járművek felderítését. A kisugárzás intenzitásának mérőszáma például az egységnyi felületről kisugárzott energia lehet,  $W/cm^2$ -ben kifejezve, amelyet megfelelő eszközzel lehet mérni.

A harci helikoptereken az infravörös sugárzásnak a környezeti sugárzáshoz viszonyított értéke csökkenthető:

- a fűvócsövek körkörös árnyékolásával;
- az árnyékoló szerkezeti elem belső falának infravörös sugárzást át nem eresztő réteggel való bevonásával;

<sup>7</sup> Fenestron: a latin fenestra, ablak szóból ered. Egy csőlégcsavarként kialakított faroklégcsavar.

- a hajtómű kiáramló gázainak hűtésével még a kilépés előtt jelentős mennyiségű hideg levegőt hozzákeverve (harci üzemmódon még járulékosan víz-alkohol keverék hozzáadásával), hogy azok minél kevésbé tudják a szerkezeti elemeket felmelegíteni;
- a kiáramló hűtött gáz irányának olyan megváltoztatásával, hogy azok minél korábban a forgószárny által megmozgatott nagy tömegű környezeti levegő áramlásába elkeveredjenek;
- a fúvócső szívóhatásának felhasználásával a hajtómű és a hajtóműborítás közötti, valamint a főreduktor teréből a meleg levegő kiszívásával, akadályozva a borító sárkányelemek átmelegedését.



5. ábra

A hajtóműből kiáramló gáz infravörös sugárzásának csökkentése [8]

E módszerek célja, hogy az infravörös sugárzás általános szintjét az alkalmazott infrafejes rakéták érzékelési küszöbszintje alá csökkentse a megtévesztés érdekében. Mindezek mellett a felderíthetőséget a háttérsugárzáshoz viszonyított kontraszt elmosásával minimalizáljuk. A napjainkban korszerűnek számító harci helikopterek mindegyike kielégíti ezeket a követelményeket, e segédeszközök a sárkányszerkezet részei. A „Mi” típusú orosz helikopterekhez az infravörös sugárzáscsökkentő berendezéseket pótlólag fejlesztették ki (5. ábra).

Még eredményesebb a védelem, ha a támadórakéta indítása után a helikopter annak tulajdonságaira hangolt megtévesztő infravörös forrásokat, „infracsapdát” bocsát ki (6. ábra). A hatékonyságát nagymértékben befolyásolja az alkalmazott infratöltetek száma (célszerű a százas nagyságrend), elhelyezése a sárkányszerkezeten és a működtetés módja (automatikus, kézi, egyszeri kibocsátás vagy szakaszos stb.).



6. ábra  
Infracsapda alkalmazása [8]

### *Sérülés, megsemmisülés elleni védelem*

A harctevékenység eredményes megvívása érdekében legfontosabb előny a légi fölény kivívása, amely többféle lehet. Egyszerűen elérhető a légi fölény, ha a közel azonos technikai tulajdonságokkal rendelkező haditechnikai eszközökből többel rendelkezünk, mint az ellenség. Törekedni lehet arra, hogy a harci eszköz felderíthetősége minimális legyen, ezzel jelentős hátrányba hozva az ellenséget. A precíziós fegyverrendszerek megfelelő alkalmazásával eredményesen lehet elérni fölényt, de nem szabad elfelejteni, hogy az ellenség is megtesz mindent annak érdekében, hogy a technikai/információs fölényt elérje és fenntartsa, valamint az ellenség kapacitásait, lehetőségeit gyöngítse. Mindez azt eredményezi, hogy a legkorszerűbb eszköz esetében is – egy helyesen megválasztott eljárás alkalmazásával – elérhető a csapásmérés, amely az eszköz részleges vagy teljes megsemmisülését váltja ki.<sup>8</sup> A legkorszerűbb gyártási technológia, beépített eszközrendszer, repüléstechnikai eljárás sem eredményezheti a 100%-os repülésbiztonságot vagy harci túlélőképességet.

### **Preventív megoldások**

Amennyiben nem lehet teljesen kiszűrni annak valószínűségét, hogy a légi járművet ne érje találat, akkor mindent meg kell tenni annak érdekében, hogy a legértékesebb erőforrást, a kiképzett állomány életét megmentsük és a haditechnikában beállható sérüléseket minimalizáljuk. A helikopter túlélőképessége – itt elsősorban a harci túlélőképesség értendő – legfőképpen

<sup>8</sup> A délszláv háborúban, a szerb hadsereg egyik magyar származású tisztje és csapata a radarokon végzett átalakításnak köszönhetően 1999-ben lelőtte az USA „stealth (lopakodó)” képességgel rendelkező F-117A harcászati repülőgépet.

a teljes repülőszerkezet, elsősorban a sárkányszerkezet kialakításától függ. A helikopternek mind a hajtóművét, mind pedig az avionikai berendezéseit konstrukciósan fel kell készíteni különböző földrajzi helyeken, bármilyen időjárási viszonyok között történő üzemeltetésre. Ennek megfelelően a hajtóművek rendelkezzenek porkiválóztató rendszerrel, illetve hatékony hűtőrendszerrel, valamint az egyik hajtómű üzemképtelenné válása esetén képes kell, hogy legyen folytatni a repülést és biztonságban leszállni. Ebből következik, hogy repülésbiztonsági szempontból mindenképpen a két hajtóműves változatot kell előnyben részesíteni. Mindezek mellett a hajtóműveket úgy célszerű elhelyezni, hogy egyetlen találattal ne lehessen üzemképtelenné tenni mindkettőt. Mind a helikopter, mind pedig a személyzet túlélőképessége érdekében fontos, hogy a helikopter fülkéje hermetizált legyen az atom-, biológiai és vegyi fegyverek elleni védelem érdekében, amely természetesen együtt jár a túlnyomásos fülke kialakításával, klimatizálásával, amely a személyzet komfortérzetét növeli, és így nagymértékben befolyásolja a harci feladat végrehajtásának minőségét.

A hajtóművek speciális elrendezése és azok speciális felfüggesztése (becsapódás esetén a hajtóműbekötési csomópontok kiszakadnak, így csökkentve a helikopter súlyát, ezáltal a becsapódás mértékét) már önmagában jelentősen növeli a helikopter túlélőképességét. A robbanás elkerülése érdekében az üzemanyagtartályok túlnyomásos rendszerének semleges gázzal (CO<sub>2</sub>) történő folyamatos feltöltése, a tartályok rugalmas, esetleg „önforrasztó” anyagból történő kialakítása – amelyek találat esetén minimálisra csökkentik az üzemanyag-elfolyást –, valamint az automatikusan üzemelő tűzoltórendszer napjaink harci helikopterein elengedhetetlen konstrukciós megoldások [3].



7. ábra  
Kevlárbetét alkalmazása a személyzet védelmére (H145M helikopter) [14]

A létfontosságú elemek megkettőzése, esetleg árnyékolása, valamint a hatékony páncélvédelem szintén elengedhetetlen a szerkezeti kialakítás során. A helikopter berendezéseinek elhelyezését úgy kell megválasztani, hogy a létfontosságú gépészeti és avionikai berendezések elé egy kevésbé fontos vagy dublázott berendezés kerüljön, így biztosítva az előbbi

hathatósabb védelmét. Erre mindenképpen szükség van, mert tömeg és hatékonysági okok miatt nincsen lehetőség a teljes helikopter páncélvédelmére. Viszont azokon a területeken, ahol a páncélvédelem biztosított (7. ábra), a védelem szintjének meg kell felelnie a következő általános elvárásoknak:

- a védett zónákban a páncélzatnak el kell viselnie a 23 mm-es gépágyúlövedékek közvetlen találatát;
- a pilótafülke páncélüvegezése el kell, hogy viselje a kézi lőfegyverek, maximum 12,7–14,5 mm-es lövedékeinek közvetlen becsapódását, valamint a 23 mm-es gépágyúlövedék repesztalálatait;
- a forgószárnylapátok nagy lövésállóságúak legyenek, amelynek a szálerősítésű, több főtartós kompozitanyagok felelnek meg a legjobban.<sup>9</sup>



8. ábra

*Az AH-64 kettő darab titán főtartós forgószárnylapátja, a gépágyúlövedék találatát követően öt órán keresztül megőrizte működőképességét [8]*

Napjaink fegyveres konfliktusaiban a harci helikopterek harcászati eljárása során a földközeli repülések – lehetőség szerint éjjel történő – végrehajtása elsődlegességgel bír. A fejlett infrastruktúrájú terep felett, a földközelen repülő helikopterekre az egyik legnagyobb veszélyforrás (békeidőben is) az elektromos vezetékekkel történő ütközések jelentik. A vezetékek biztonságos kikerüléséhez szükséges előjelzőként különböző lézerekátorok fejlesztése és tesztelése folyik, változó eredményességgel. Jelenleg egyetlen bevált és elterjedt megoldásnak a fülke alsó és felső részére rögzített, terelő- és vágóélből álló WSPS (Wire Strike Protection System) vágórendszer tekinthető (9. ábra).

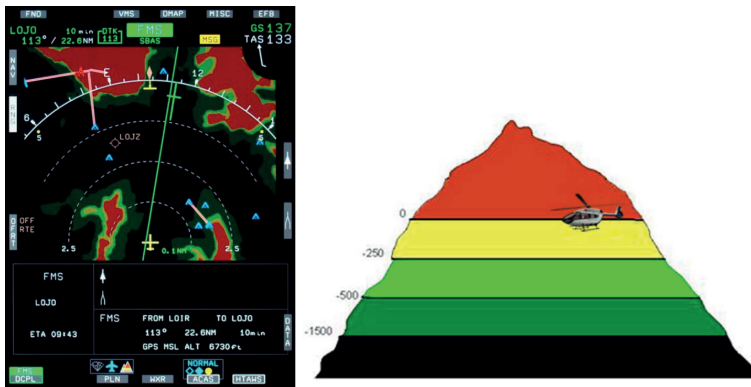
<sup>9</sup> A kompozitanyagból készült forgószárny a rádióhullámok visszaverődése szempontjából is előnyös, csökkenti a helikopter effektív visszaverő felületét (például: AH-64).



9. ábra  
WSPS rendszer (AH-51 helikopter) [8]

Előjelzésre ugyan nem alkalmas, de ütközéskor,  $v \leq 120$  km/ó repülési sebességig akár 22 mm átmérőjű vezetékét úgy vág át, hogy közben a hossz- és keresztirányú túlterhelés az üzemi értékhatárok között maradjon, és a helikopteren sérülés nem keletkezik. További előnye olcsósága, valamint több típusra utólag is felszerelhető, illetve, segítségével a katasztrófák száma jelentősen csökkenthető.

A földközeli repülések során a kor színvonalának megfelelő támogatást jelenthet a helikopterszemélyzet számára az úgynevezett TAWS (Terrain Awareness Warning System) rendszer alkalmazása (10. ábra).



10. ábra  
TAWS-rendszer (H145M helikopter) [14]

Csökkentett látási viszonyok vagy éjszakai repülések alkalmával a rendszer – a 3D-adatbázis alkalmazásával – folyamatosan jelzi, hogy a repülési magassághoz és irányhoz viszonyítva hol található olyan tereptárgyak, amelyek veszélyt jelenthetnek a helikopterre. A rendszer jelentős hátránya, hogy az alkalmazáshoz elengedhetetlen az adott terepszakasz frissített

adatbázisa, amely – főleg harci bevetések alkalmával (például Irak, Szíria) – sok esetben csak korlátozottan áll rendelkezésre.

A katonai helikopterek sérülékenyek a csökkentett/rossz látási viszonyok között végrehajtott műveletek során, mivel a pilóták szabad szemmel nem képesek észrevenni az akadályokat, kábeleket vagy más légi járműveket repülés vagy kirakodás közben. A veszély különösen súlyos olyan esetekben, amikor az alkalmazásra háborús körülmények között, ismeretlen terepviszonyok között kerül sor, mint például Irak vagy Afganisztán.

Az MFRF<sup>10</sup> – egy többfunkciós fedélzeti érzékelőrendszer – számos olyan feladatot hajt végre, amely fokozza a helikopterek túlélőképességét és harci alkalmazhatóságát (11. ábra). Repülések során biztosítja az ütközések elkerülését más repülőgépekkel, akadályokkal és kábelekkel, terepkövetést tesz lehetővé, valamint segíti a repülésre jelentős negatív hatással bíró rossz időjárás elkerülését. Poros/havas helyen történő leszállás közben nagymértékben növeli a hajózók tájékozódását, ezáltal növelve a repülésbiztonságot.



11. ábra  
MFRF (többfunkciós fedélzeti érzékelőrendszer) [8]

## A helikopterszemélyzet lezuhanás elleni védelme

A harci helikopterek leginkább akkor veszélyeztetettek, amikor az ellenséges légvédelem zónájában, földközeli magasságban kell repülniük maximális vagy minimális sebességgel. Ilyenkor a repülőeszköz üzemképtelenné válása esetén autorotációval történő leszállásra – figyelembe véve az aerodinamikai és repülésmechanikai korlátokat – nincs reális esély. A katapultálás elvben megvalósítható – létezik is már ennek megfelelően kialakított harci helikopter (KA-50/52), ahol a vészelhagyás minden magasságon és sebességen biztosított – de ez legalább annyi bizonytalanságot hordoz, mint az autorotáció. Napjainkban ez az eljárás nem igazán elterjedt, mivel az oldalra történő kilövés során teljes biztonsággal nem ismertek a túlterhelés fiziológiai hatásai, a függőleges elhagyásnál pedig a forgószárnyak eltávolítása okozza a legnagyobb kihívást. Mindezeket figyelembe véve azzal kell számolni, hogy a helikopterek

<sup>10</sup> MFRF: Multifunction RF (többfunkciós fedélzeti érzékelő rendszer).

esetében olyan konstrukciós kialakításokban kell gondolkodni, amelyek a sérülések ellenére is lehetővé teszik a biztonságos földet érést egy adott időkorláton belül, vagy ha erre nincs lehetőség, akkor mindent meg kell tenni, hogy a személyzet túlélési valószínűsége minél magasabb legyen a földet érést követően.

A földközeli magasságból lezuhanó helikopterek mozgását elemezve megállapítható, hogy a becsapódás függőleges sebesség összetevője ( $v_y$ ) nem haladja meg a 6-15 m/s-ot. Ebből adódóan megnyugtató védelmet az jelenthet, ha a helikopter törzsét konstrukciósan alkalmassá teszik – ilyen függőleges becsapódási sebességgel történő talajnak ütközéskor – a benne ülők sérülésmentes túlélésének biztosítására. Természetesen ez nem történhet a sárkányszerkezet merevségének növelésével, mivel [12]:

- jelentős szerkezeti tömegnövekedést okozna;
- a függőleges túlterhelés a rövid fékezési úthossz ( $H_{fék}$ ) miatt az emberi szervezet számára elviselhetetlen mértékben megnövekedne  $H_{fék} \sim 0 \text{ m} \rightarrow a_y \sim \infty$

$$n_y = F_y / G = m \cdot a_y / m \cdot g \quad (3)$$

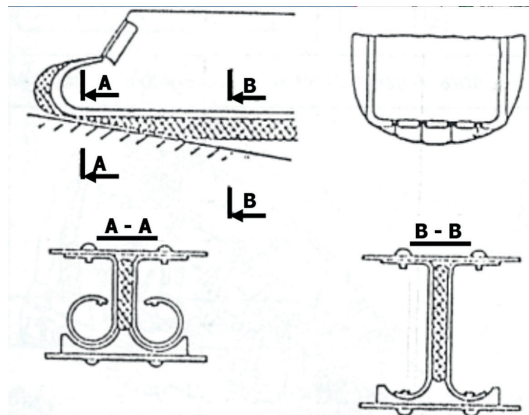
ahol:

- $n_y$ : függőleges irányú túlterhelés;
- $F_y$ : a helikopteren jelentkező függőleges irányú erőhatás [N];
- $G$ : nehézségi erő [N];
- $a_y$ : a helikopter függőleges irányú gyorsulása [ $\text{m/s}^2$ ];
- $m$ : a helikopter tömege [kg];
- $g$ : nehézségi gyorsulás [ $\text{m/s}^2$ ].

A konstrukciós kialakításkor tehát a lezuhanásból származó ütközési energia elnyelését a leghosszabb fékezési úthosszon – azaz a legkisebb lassulással ( $a_y$ ), és így a legkisebb túlterheléssel – kell biztosítani. Ez csak a sárkányszerkezet meghatározott elemeinek lépcsőzetesen egymást követő, irányított deformációjával lehetséges.

Normál és kényszerleszállásnál, valamint lezuhanásnál elsődleges energiaelnyelőként a talajtól származó lökőerő ( $F_l$ ) felvételére a helikopter futóműve szolgál. Ezért az ilyen repülőeszközökön – az aerodinamikai korlátok ellenére – hosszúlökötű, nem behúzzható, karos futóműveket alkalmaznak, mivel a berugózás függvényében növekvő erőátviteli képességük kedvezőbb, mint a teleszkopikus rugóstagé. Az ilyen rugóstag már normál működése során is tetemes túlterhelés ( $n_y = 5-6$ ) felvételére alkalmas.

Amennyiben a rugóstag teljes összenyomódása nem elég az ütközési energia elnyelésére, a hajózó személyzet ülésének felfüggesztése is deformálódni kezd irányítottan, ami a benne ülők számára további 0,4-0,6 méterrel megnöveli a fékezési úthosszt. Ezt követően további energiaelnyelés már csak a futómű kitorése, illetve a törzs alsó részének irányított, rugalmatlan deformációja árán lehetséges. Ezt biztosítandó, a törzs alján elhelyezett „I” profilú, teherviselő elemek gerinclemezei a borítólemezhez íves előbeépítéssel vannak rögzítve olyan szegecsekkel, amelyek megfelelő, a felső övnél kisebb erő hatására nyíródnak (12. ábra B-B metszet) [8].



12. ábra  
Irányított deformáció [8]

Így a törzsborítás ütközését követően csak a hossztartó gerinclemez-rögzítés alsó szegecsei nyíródnak el, és a gerincek az előbeépítésen rugalmatlanul, körkörösén deformálódnak, további energiahányadot elnyelve. Annak ellenére, hogy a futószárak kitérését követően a túlterhelés extrém módon megnövekszik, a túlélésre még így is jó az esély. Az utóbbi biztosításához igen fontos járulékos követelmény, hogy más, deformálódó sárkányelemek ne hatolhassanak be az utastérbe, üzem- és kenőanyag ne folyhasson szét, elektromos vezeték szakadásakor szikra ne képződjön.

## Összegzés

A Zrínyi 2026 Honvédelmi és haderőfejlesztési program olyan mértékű képességfejlesztést tesz lehetővé, amely páratlan a Magyar Honvédség történelmében. A már aláírt szerződéseknek köszönhetően hamarosan megérkeznek az első H145M típusú könnyű, többcélú helikopterek, majd 2023-tól kezdődően a H225M közepes, többcélúak is hadrendbe állnak. A fejlesztés eredményeként a hazai helikopteres kultúra jelentős képességekre tesz szert, de ez csak akkor válhat teljessé, ha a Mi-24 típusú harci helikopterflotta váltására is sor kerül.

A hadműveleti követelményrendszerből kiindulva azonosítani kell azon ismérveket, amelyek segítségével egy komplex összehasonlítás eredményeként a számunkra leginkább megfelelő harci helikopter fog rendelkezésre állni. A csapásmérő képesség és a műszaki megbízhatóság mellett a túlélőképességre kell a legnagyobb hangsúlyt fektetni a harci alkalmazás minden fázisában. Az észlelés és azonosítás során mindent meg kell tenni annak érdekében, hogy az álcázó és zavaró festéssel, adott esetben a „stealth”-technológia alkalmazásával, az EHC-zavarással, a dipólszórással, a műcélkibocsátással, az alacsony zajszintű hajtóművekkel, légcsavarokkal, forgószárnyakkal és a helyesen megválasztott – a tereptárgyak adta fedezékek kihasználása mellett végrehajtott – földközeli repüléssel a harci helikopter felderítésének a valószínűsége minimális legyen. A célzás és tüzmegnyitás során az intenzív manőverező repülés, a külső, felmelegedett sárkányelemek és a hajtóműgázok hűtése, valamint az infracsapda alkalmazása jelenthet jó megoldást az ellenséges fegyverrendszerekkel szemben.

Mindazok ellenére, hogy a hadiiparban olyan jelentős fejlesztéseket érnek el, amelyek segítségével jelentősen csökkenthető annak valószínűsége, hogy a harcjárművet felderítsék, teljes mértékben nem zárható ki, hogy ne kapjon találatot. Ezért a konstrukciós kialakítások során a legfontosabb a helikopter vezető/vezetők túlélőképességének maximalizálása úgy, hogy az ellenséges fegyverrendszerek által okozott sérülések ellenére a biztonságos leszállásra egy adott időkereten belül lehetőség legyen, valamint a helikopterben a lehető legkisebb sérülések keletkezzenek. Annak elérése, hogy a felderítési valószínűséget egy komplex „stealth”-technológia alkalmazásával minél inkább minimalizáljuk, anyagi okok miatt nem lehetséges, ezért a jelen tanulmányban bemutatott szerkezeti kialakítások – az anyag- és gyártástechnológiák által adott lehetőségek maximális kihasználása melletti – továbbfejlesztésével lehet eredményeket elérni.

A katonai repülőeszközök fejlesztése esetében azonban – a jelentős költségek ellenére is – változatlanul prioritásként jelentkezik a találat lehetőségének kizárása, azaz a STEALTH-technológia minél több ismertté vált elemének alkalmazása, illetve további ilyen megoldások kimunkálása. Mindezek mellett viszonylag rövid időn belül meg fognak jelenni a személyzet nélküli csapásmérő, lopakodó robothelikopterek, ahol szintén törekedni kell a harci túlélőképesség növelésére.

## Hivatkozások

- [1] L. Szilvássy, „Harci vs. felfegyverzett szállító helikopter,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 3. sz. pp. 203–216. 2017. [Online]. Elérhető: [www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017\\_3/2017-3-16-0444\\_Szilvassy\\_Laszlo.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-16-0444_Szilvassy_Laszlo.pdf) (Letöltve: 2019. 05. 29.)
- [2] I. Juhász, „A harci helikopterek feladatrendszere és a velük szemben támasztott követelmények a NATO-ban,” „A Mi-24 harci helikopterek korszerűsítése” tudományos konferencia előadása, *Katonai Logisztika*, 8. évf. 2. sz. pp. 133–147. 2000.
- [3] L. Szilvássy, „A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben,” Doktori (PhD) értekezés, Budapest: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2008.
- [4] Gy. Óvári, „A Magyar Honvédség repülőeszközei típusváltásának és üzemeltetésének lehetőségei gazdaságossági-hatékonysági kritériumok, valamint a NATO-csatlakozásunk figyelembevételével,” in *A légierő fejlesztése*, I. Horváth, J. Kiss szerk. Budapest: Honvédelmi Minisztérium, 1997. pp. 9–127.
- [5] K. Turcsányi, „Szempontok és módszerek a haditechnika megfelelőségének a megítéléséhez,” *Hadtudomány*, 2016. évi Klnsz. DOI: <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2016.26.K.90>
- [6] L. Nagy, „A Magyar Honvédség helikopter-képesség fejlesztés műszaki és üzemen tartási kérdései,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 2. sz. pp. 7–30. 2017.
- [7] L. Nagy, „A Magyar Honvédség helikopterképességének lehetséges fejlesztési irányai,” *Honvédségi Szemle*, 144. évf. 6. sz. pp. 34–48. 2016.
- [8] Gy. Óvári, „Biztonság- és repüléstechnikai megoldások katonai helikopterek harci túlélőképességének javítására,” *Repüléstudományi Közlemények*, 2. Klnsz. pp. 1–14. 2005. [Online]. Elérhető: [www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2005\\_cikkek/ovari\\_gyula.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2005_cikkek/ovari_gyula.pdf) (Letöltve: 2019. 01. 06.)
- [9] S. A. Szabó, „»Öreg pilóta nem vén pilóta« Élettani korlátozó tényezők és szellemi teljesítmény az életkor függvényében a pilóta és az U(C)AV operátor minősítése szempontjából,”

- Repüléstudományi Közlemények*, 2. Klnsz. pp. 502–514. 2012. [Online]. Elérhető: [www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2012\\_cikkek/39\\_Szabo\\_Sandor\\_Andras.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2012_cikkek/39_Szabo_Sandor_Andras.pdf) (Letöltve: 2019. 01. 23.)
- [10] B. Békési, A katonai repülőgépek üzemeltetésének, a kiszolgálás korszerűsítésének kérdései. Doktori (PhD) értekezés. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2006. [Online]. Elérhető: [http://uni-nke.hu/downloads/konyvtar/digitgy/phd/2006/bekesi\\_bertold.pdf](http://uni-nke.hu/downloads/konyvtar/digitgy/phd/2006/bekesi_bertold.pdf) (Letöltve: 2017. 03. 20.)
- [11] Wikipédia, a szabad enciklopédia, „RAH–66 Comanche,” [Online]. Elérhető: [https://hu.wikipedia.org/wiki/RAH%E2%80%9366\\_Comanche](https://hu.wikipedia.org/wiki/RAH%E2%80%9366_Comanche) (Letöltve: 2019. 01. 23.)
- [12] Gy. Óvári, „Repülőeszközök vészelhagyása, utas- és személyzetmentő berendezések, rendszerek,” (előadásanyag) 2018.
- [13] 1999. évi VI. törvény az Európai Hagyományos Fegyveres Erőkről szóló Szerződés és kiegészítő dokumentumainak együttes kihirdetéséről, II. cikk, L pont
- [14] Ministry of Defence, Defence Economic Bureau, „Contract between Ministry of Defence Hungary and Airbus Helicopters for the supply of twenty (20) helicopters H145M and associated services and options,” Budapest, 2018, Appendix A.16 – Helicopter Technical Information

## THE POSSIBILITIES OF ENHANCING THE SURVIVABILITY OF THE COMBAT HELICOPTERS

*The Zrínyi 2026 National Defence and Armed Forces Development Program allows for such a capability development that is unique in the history of the Hungarian Defence Forces. In 2018, the renewal of the helicopter culture began with the procurement of light and medium multipurpose helicopters, which can only be complete with the development of combat helicopter capability. In addition to the combat efficiency and the proper technical reliability of these devices, reducing the vulnerability of the helicopter crew and the combat helicopter itself is particularly important. When selecting the type that best suits the Air Force, it is indispensable to assess the construction designs that can enhance the survivability of combat helicopters.*

**Keywords:** *combat helicopter, survivability, capability development, “stealth” technology, construction design*

---

Nagy László János alezredes  
főnökhelyettes  
MHP Haderőtervezési Csoportfőnökség  
[lesliebig@freemail.hu](mailto:lesliebig@freemail.hu)  
<https://orcid.org/0000-0002-7831-8639>

Lt. Col. László János Nagy  
Deputy Head of Air Force Branch  
HDF Command Force Planning Directorate  
Air Force Systems Development Branch  
[lesliebig@freemail.hu](mailto:lesliebig@freemail.hu)  
<https://orcid.org/0000-0002-7831-8639>



VÁKÁT OLDAL

Annamária Koncz, László Pokorádi, Zsolt Csaba Johanyák

## Risk Analysis in the Automotive Industry

*The automotive industry is one of the most dynamically growing fields of the manufacturing area. Besides this, it has very strict rules concerning safety and reliability. In our work, our aim is to point out the importance of the automotive industry (based on statistics) and the rules in connection with risk and root cause analysis. The most important risk analysis method is the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). According to standards and OEM regulations, FMEA is obligatory in the automotive sector. In our study, we summarise the area of FMEA usage, its types and process steps.*

**Keywords:** risk analysis, Failure Mode and Effect Analysis, Risk Priority Number

### Introduction

In our work, our aim is to point out the well-known fact, that the automotive industry is constantly developing, although it is strongly influenced by the economic environment. According to statistics, the Hungarian automotive industry resulted in the following numbers:

- production value of 26.1 billion EUR (in 2017)
- 13% of production value increase (in the period of 2010–2017)
- 28.7% of manufacturing output increase (in 2017)
- 175,800 people employed in the sector (4% of the total employment)
- 500,000 manufactured cars (in 2017)
- 5 OEMs have already chosen Hungary (Mercedes-Benz, Audi, Suzuki, Opel, BMW)
- 700 automotive supplier companies
- over 40 of the top 100 OEM suppliers are represented
- 20% of Hungary's total export [1]

Table 1.  
Figures of Hungarian OEMs, 2017 [1]

Company name	Number of employees	Car/engine production
Magyar Suzuki Corporation	3,100	176,705 (cars)
Mercedes-Benz Manufacturing Hungary Ltd.	4,000	ca. 190,000 (cars)
Opel Szentgotthárd Ltd. (PSA)	1,251	486,302 (engines)
Audi Hungária Ltd.	12,307	105,491 (cars) 1,965,165 (engines)

Currently, there are 4 OEMs operating in Hungary and a BMW plant is being built:

- ➔ Magyar Suzuki Corporation (Esztergom), with a yearly production of 176,705 cars
- ➔ Mercedes-Benz Manufacturing Hungary Ltd. (Kecskemét), with a yearly production of 190,000 cars
- ➔ Opel Szentgotthárd Ltd. (PSA) (Szentgotthárd), with a yearly production of 486,302 engines
- ➔ Audi Hungária Ltd. (Győr), with 105,491 cars yearly and 1,965,165 engines produced [1]

The numbers mentioned above point out, that the automotive industry is a leading industry branch even locally. (Although, it is important to state, that despite the presence of OEMs, Hungary is the country of automotive suppliers.)

As the automotive production is a serious responsibility, there are surplus rules to follow (according to IATF, etc.). According to these mandatory quality requirements, risk analyses have to be carried out (Failure Mode and Effect Analysis) in terms of product planning and manufacturing processes. Root cause analysis is connected to FMEA. (The complaints of internal/external customers are handled in 8D analyses.) 8D is a systematic analysis in which the root causes of non-conformities are defined.

Our second aim is to emphasise the importance of quality analysis tools. Analysis methods are important in the automotive industry, as safety has to go first.

## Global Automotive Overview

As we have pointed out in the Introduction section, the automotive industry has a significant role globally, and locally as well. This importance can be seen in the manufactured quantity, in export figures and employment rates.

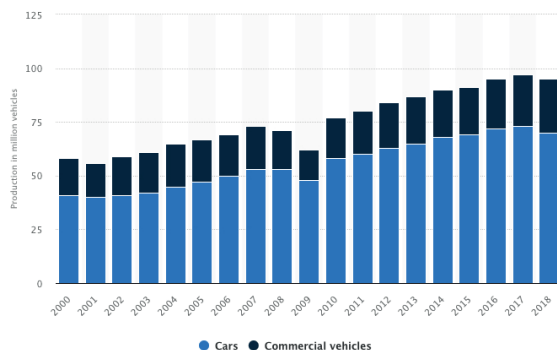


Figure 1.  
Global automotive production (2000–2018) [2]

On Figure 1, it can be seen that in 2018 approximately 70 million cars and 20 million commercial cars were produced [2]. The tendency of automotive production is increasing, although the economic background is strongly influencing it.

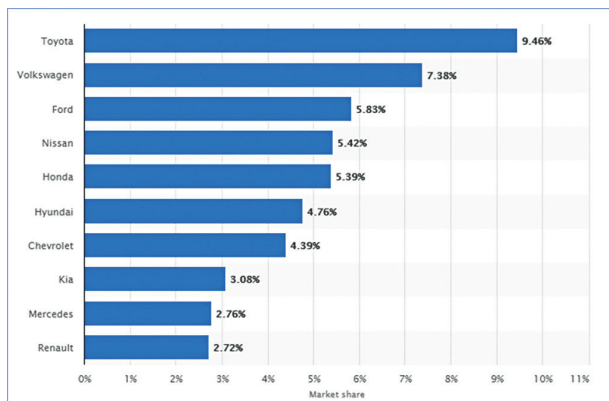


Figure 2.  
Global automotive market share [3]

Amongst the top manufacturer companies, Toyota has a market share of approximately 10%, according to Figure 2. This significant market share resulted in 260 billion USD revenue in 2017 [3]. On Figure 3, the automotive action groups are shown, to which the companies of Figure 2 belong.



Figure 3.  
Automotive manufacturer groups [3]

The mentioned automotive connections seen on Figure 3 are important to know, because each manufacturer group has its own requirements towards its suppliers. In Hungary, PSA (Opel), Daimler (Mercedes Benz), Volkswagen (Audi), Suzuki and BMW are present [3].

## Analysing Risk with Failure Mode and Effect Analysis

As mentioned before, FMEA is obligatory in the automotive industry. Both AIAG (Automotive Industry Action Group, which is a North American manufacturer group) and VDA (Verband der Automobilindustrie, which is a German manufacturer group) created a regulation on FMEA. Because of the changed mindset, AIAG and VDA created a common handbook in order to eliminate the differences in both methods. IATF 16949:2016 (the surplus criteria of ISO 9001:2015 for automotive producers, which replaces ISO/TS) also states that it is mandatory. (Even OEMs created their own regulations and handbooks.) [4]

FMEA is a systematic analysis for defining possible risks of systems (System FMEA), products (Design FMEA), processes (Process FMEA) and services (Service FMEA). On the one hand, the aim of FMEA is to identify potential risk possibilities, in order to avoid them. On the other, FMEA is used for the evaluation of already occurred failures.

These analyses are strongly connected to each other:

- System FMEA consists of several Product FMEAs (these can be SW products, as well)
- Design FMEA failure effects are linked to Process FMEA failure modes (as it is important that each failure mode has an effect on the process level and on the design level, as well) [5]

As shown in Table 2, a car can be considered a system, which consists of several units, like brake system ECUs. In this example, this ECU is the product. Process FMEA is about the ECU's manufacturing process. FMEA evaluation is currently based on the Risk Priority Number (RPN).

Table 2.  
*System–subsystem connection in cars [6]*

System	Subsystem
Vehicle	Transmission system
	Exhaust system
	Engine
	Braking system → product ECU
	Steering system
	Suspension system
	Electrical system
	Cooling system
	Fuel supply system

RPN is the multiplication of the following factors:

- S (Severity): failure effect severity (the significance of the failure effect)
- O (Occurrence): failure cause occurrence
- D (Detection): failure cause detection [5]

Each factor has a maximum value of 10, which means that the highest RPN value is 1,000. (This means that the most serious non-conformity is rated with 10, the failure cause occurring the most is rated with 10, and the failure cause most likely to be detected is rated with 1.

FMEAs are systematically created; they consist of the following steps (according to the VDA):

1. Structure analysis (the basic parts of examination are defined and separated)
2. Function analysis (written requirements of system, product or process)
3. Failure analysis (definition of failure nets, centred on failure modes)
4. Definition of measures (initial state)
5. Evaluation of S, O, D factors (actions for process improvement) [5]

As FMEA is a living document, all feedbacks and data have to be implemented in the analysis (concerning product structure and manufacturing process evaluation, as well). Safety is the most important feature in connection with automotive production (as the S = 10 means that fatal injury can happen in case of failure.)

## Summary

Hungary is a country of automotive suppliers, who are providing components (both mechanic and electronic) to OEMs worldwide. In our work, we have pointed out the significance of automotive industry on the basis of statistics, concerning world, EU and domestic production. The most important data are those which affect the current status of Hungary (the production and employment values of the OEMs settled in the country).

Since in the automotive sector safety is prior to anything else, it applies mandatory methods for improving quality. Failure Mode and Effect Analysis is one of these tools, it is applied on system-, product-, and process levels as well. Our aim was to describe the method, its process steps and area of usage.

As the part of the research, different aspects of the FMEA will be examined: Process FMEA extension possibilities, usage of fuzzy methodology.

## References

- [1] Hungarian Investment Promotion Agency, *Automotive Industry*. Hipa, 2018. Available: [https://hipa.hu/images/publications/hipa-automotive-industry-in-hungary\\_2018\\_09\\_20.pdf](https://hipa.hu/images/publications/hipa-automotive-industry-in-hungary_2018_09_20.pdf) [Accessed Sept. 13, 2019].
- [2] *Worldwide automobile production*, 2018. Available: [www.statista.com/statistics/262747/worldwide-automobile-production-since-2000/](http://www.statista.com/statistics/262747/worldwide-automobile-production-since-2000/) [Accessed Sept. 13, 2019].
- [3] *Automotive market share*, 2018. Available: [www.statista.com/statistics/316786/global-market-share-of-the-leading-automakers/](http://www.statista.com/statistics/316786/global-market-share-of-the-leading-automakers/) [Accessed Sept. 13, 2019].
- [4] Ch. Spreafico, D. Russo, and C. Rizzi, "A state-of-the-art review of FMEA/FMECA including patents," *Computer Science Review*, vol. 25, Aug. 2017, pp. 19–28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2017.05.002>
- [5] D. H. Stamatis, *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. ASQ Quality Press, 2003.
- [6] Dr. Varga Ferenc, *Közúti járműrendszerek szerkezetana*. BME MOGI, 2014. Available: [www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2011-0042\\_kozuti\\_jarmurendszerek\\_szerkezetana/ch14s02.html](http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2011-0042_kozuti_jarmurendszerek_szerkezetana/ch14s02.html) [Accessed Sept. 13, 2019].

## KOCKÁZATELEMZÉS A JÁRMŰIPARBAN

A járműipar egy dinamikusan fejlődő iparág, amely Magyarországon is jelentős. Habár mindössze 5 autógyár található az országban, mégis közel 700 hazai vállalkozás szállít be az autóiiparnak, mind Magyarországon, mind világszinten. Az autóiipar egy potenciálisan biztonságkritikus iparág. Egy nem megfelelő konstrukció vagy gyártási folyamat emberi életbe kerülhet, ezért a biztonság kiemelt jelentőségű. A hibamód- és hatáselemzés egy szisztematikus eljárás, amely a termékekben és a gyártási eljárásokban található hibák felfedésére, elemzésére és értékelésére, illetve azok elkerülésére alkalmas, ezáltal növeli a termék megbízhatóságát, biztonságát. Munkánkban érintjük a kockázatelemzés tárgykörét az FMEA bemutatásán keresztül.

**Kulcsszavak:** kockázatelemzés, hibamód- és hatáselemzés, rizikó prioritási szám

Annamária Koncz, MSc  
PhD Student  
Óbuda University Doctoral School on Safety  
and Security Sciences  
koncz.annamaria@phd.uni-obuda.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-9171-4441>

Koncz Annamária MSc  
PhD-hallgató  
Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola  
koncz.annamaria@phd.uni-obuda.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-9171-4441>

László Pokorádi Dr.  
Professor  
Óbuda University Institute of Mechatronics  
and Vehicle Engineering  
pokoradi.laszlo@bkg.uni-obuda.hu  
<https://orcid.org/0000-0003-2857-1887>

Dr. Pokorádi László  
egyetemi tanár  
Óbudai Egyetem Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
pokoradi.laszlo@bkg.uni-obuda.hu  
<https://orcid.org/0000-0003-2857-1887>

Zsolt Csaba Johanyák, PhD  
Professor, Vice Dean  
John von Neumann University  
Department of Information Technology  
johanyak.csaba@gamf.uni-neumann.hu  
<https://orcid.org/0000-0001-9285-9178>

Dr. Johanyák Zsolt Csaba  
főiskolai tanár, tudományos dékánhelyettes  
Neumann János Egyetem  
Informatika Tanszék  
johanyak.csaba@gamf.uni-neumann.hu  
<https://orcid.org/0000-0001-9285-9178>

The research presented in this paper was carried out as part of the EFOP-3.6.2-16-2017-00016 project in the framework of the New Széchenyi Plan. The completion of this project is funded by the European Union and co-financed by the European Social Fund.



Salavec Péter, Simon André, Szintai Balázs

## Turbulencia- és hegyihullámképződés-diagnosztikák a repülési előrejelzésben az Országos Meteorológiai Szolgálatnál

*Az Országos Meteorológiai Szolgálat Repülésmeteorológiai Osztályán folyó egyik kutatómunka az új repülésmeteorológiai honlap (<http://aviation.met.hu>) Modell előrejelzések menüpontja alatt található, a hullámrepülés támogatását szolgáló aloldal fejlesztését célozza. E kutatás első lépéseiről az első szerző egy korábbi cikkben már beszámolt. Az akkori tervek közül néhány már megvalósult, valamint új irányok felé is nyitott a kutatás. Az AROME-modellből ma már több esettanulmányhoz előállt a Scorer-paraméter, a közeljövő feladata az operatív modelltől történő előállítás kidolgozása. Az esettanulmányok feldolgozására egy MSc-diplomamunka keretében kerül sor. A turbulencia előrejelzésével kapcsolatban egy korábban független, a szerzőtársak által végzett másik kutatás került kapcsolatba. Az ő kutatásuk parametrizációk fejlesztésével a szabad légköri turbulencia modellezésének fejlesztését célozza. Megállapították, hogy csapdázott hegyi hullámok jelenléte esetén jelentős az alulbecslés, ezért a további terv közös munkával megpróbálni eredményt elérni.*

**Kulcsszavak:** repülésmeteorológia, hegyi hullám, turbulencia, AROME, parametrizációk

### Bevezetés

A Repüléstudományi Közleményekben korábban közölt egy cikket az első szerző [1], amelyben beszámolt egy akkor indult új kutatásról, amely a <http://aviation.met.hu> honlapon a Modell előrejelzések Hullámrepülést támogató aloldalának bővítését célozza. A kutatás az egyéb teendők melletti alacsony prioritása miatt csak lassan halad, így azóta kevés eredmény született, a honlap bővítése az idei év második felére van tervezve. A kutatás menetében azonban fontos események történtek, jelen cikkünk ezeket részletezi.

A kutatás részeként egyik fő tervünk volt, hogy az AROME-modellből Scorer-paraméter álljon elő. Ezt a paramétert a modellező kollégák előállították, köszönhetően Lancz Dávid és Kullmann László munkájának. Így a HAWK-3 megjelenítő rendszerben már tudunk Scorer-paraméter vertikális térbeli és időbeli profilokat létrehozni. A paraméter előállításához azonban egyelőre a modell olyan beállításaira van szükség, amely miatt operatíván még nem tudjuk bevezetni, a paraméter viselkedését esettanulmányokon keresztül vizsgáljuk. E vizsgálatok az ELTE MSc-s hallgatója, Imen Ghanmi diplomamunka-témáját képezik, terveink szerint ez fogja képezni a közzéteendő új produktumok dokumentációjának alapját.

Az előzetes vizsgálatok során felmerült a turbulencia előrejelzésének kérdése is, ugyanis valószínű [2], [3], [4], hogy a turbulencia mértékét a numerikus modellek erősen alábecsülik olyan esetekben, amikor csapdázott hegyi hullámok vannak jelen. Ennek oka, hogy mind maguk a hullámok, mind az őket kísérő másodlagos jelenségek a környezetükben jelentkező, lokálisan erős szélnyírás hatására kis skálájú turbulenciát generálnak, valamint a jelenségekben fellépő erős vertikális áramlást a repülőgépek szintén turbulenciaként érzékelik, és a jelenség méretskálája az operatív modellek rácsával összemérhető vagy az alatti.

Ma még a turbulencia előrejelzése tehát csak parametrizációk útján lehetséges. Ráadásul a parametrizációkat kalibráló mikrometeorológiai mérési kampányok zömében a planetáris határrétegben zajlanak, érvényességük a szabad légkörben még úgy is erősen kérdőjeles, hogy az elméletek többsége általában is igaz a légkörben (lásd például [5] 1. szakasz). Ezért a parametrizációk fejlesztése ma is aktív kutatási téma, amellyel az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (a továbbiakban: OMSZ) a szerzőtársak foglalkoznak.

A két kutatás, azaz a hullám-előrejelzés és a turbulencia-parametrizációk fejlesztése eredetileg külön témák voltak, a hullámok és kísérőjelenségeik által generált turbulencia előrejelzésének kérdéskörében azonban e két kutatás némileg összekapcsolódik. Több olyan esetet is tanulmányoztunk, amelynek során hullámok csapdázódása és erős turbulencia egyaránt előfordult. Jelenlegi cikkünkben az így elért elsődleges eredményeket szeretnénk bemutatni.

A cikk első részében a hullámok és a turbulencia elméletéről teszünk említést. A második részben a tervezett repülésmeteorológiai produktumokat mutatjuk be röviden egy esettanulmányon keresztül. Ezekkel kapcsolatban a korábbi és újabb eredmények is szerepelnek majd, így itt részben a korábbi cikkben már közölt információk is szerepelnek majd a teljesség kedvéért. A harmadik részben a turbulencia-előrejelzés terén a közelmúltban végzett kutatási eredmények szerepelnek, hangsúlyozva a csapdázott hullámok jelenlétéről készült eseteket.

## Elméleti leírás

Mindenekelőtt érdemes szem előtt tartani, hogy a tapasztalatok szerint a hegyi hullám az egyetlen olyan jelenség, amelyben a vertikális szélesség megközelítheti a zivatarcellákban tapasztalhatókat. Emiatt a vitorlázórepülők számára igen hasznos, sok ma is hivatalos rekordot hullámrepüléssel állítottak fel, sőt, ma már a klímakutatásra is terveznek használni olyan vitorlázórepülőt, amely képes magasan a sztratoszférába felrepülni [6], [7].

A hegyi hullámok leírása legfontosabb elméleti alapjainak áttekintésével, néhány speciális eseten keresztül a hegyi hullámok egyes alapvető tulajdonságai tanulmányozhatók. A leíráshoz szükséges feltételezések azonban olyan, pusztán matematikai szempontból értelmes megoldásokra vezetnek e speciális esetekben, amelyek a feltételezések egy részét sértik. Azok (főleg például a belső sűrűlódás és kis amplitúdó) elhagyásával jelennek meg az olyan másodlagos jelenségek (rotorok, törési jelenségek, lejtővihar stb.), amelyek erős turbulenciát jelentenek a repülőgépek számára [8], [9]. Ezek mellett a mikroskálájú turbulencia produkciója is megnövekszik a hullámok környezetében [10], [11].

Ezek a jelenségek a hullámrepülést népszerűsége mellett egyben igen veszélyessé is teszik, ezért különösen fontos lenne a hullámokhoz tartozó másodlagos jelenségek analitikus elméletének ismerete is. E munkát azonban a nagy felbontású numerikus modellezés körülbelül az 1970-es évek óta jelentős részben felváltotta, így például hiányoznak a rotorok, lejtővihar

stb. kialakulásának részletes analitikus leírásai [12], [13]. Ugyanakkor az operatív gyakorlatban használt numerikus modellek ma még csak korlátozottan képesek a jelenségek előrejelzésére, az alkalmazott parametizációk legnagyobb része pedig leginkább a határreteg folyamatainak leírására alkalmas, még akkor is, ha az adott elmélet általánosságban igaz, de a parametizációban szereplő paramétereket a határretegben történt mérésekkel kalibrálták [14].

Áttörést jelenthet e téren, ha a manapság egyre népszerűbb vitorlázórepülők által végzett méréseket költséghatékonyra lehetne tenni úgy, hogy közben az adatok megbízhatósága, részletessége a felszíni mikrometeorológiai mérésekből származó adatokét megközelíthetné. Addig mindenképp fontos, de emellett is hasznos elméleti úton minél pontosabban leírni a jelenségeket, hiszen a pontosabb parametizációk bevezetését az is nagyban segítené [15], [16].

## A hegyi hullámok leírása

A most következő elmélet idén jubileumát ünnepli: Richard Scorer éppen 70 éve, 1949-ben vezette le a belső gravitációs hullámok vertikális sebességének differenciálegyenletét. Scorer pedig idén lenne 100 éves. 92 éves korában, nyolc éve távozott közülünk, munkássága a belső gravitációs hullámok terén alapvető fontosságú eredményeket adott a téma kutatóinak [17].

Kiindulásként a termodinamikai egyenletrendszer általános alakját használjuk fel a Coriolis-erővel, súrlódással, hővezetéssel és a sugárzással. Első egyenletünk a mozgásegyenlet az  $u$  sebességkomponensre (a komponenseket rendre  $u$ ,  $v$ ,  $w$ -vel jelöljük), második a termodinamikai egyenlet a  $\theta$  potenciális hőmérsékletre, harmadik pedig a kontinuitási egyenlet a  $\rho$  sűrűségre. Az ideális gázegyenletet csak a sűrűség és a potenciális hőmérséklet közötti áttérésre használjuk, illetve alkalmazzuk az Einstein-féle némaindex-jelölést.

$$\rho \frac{du_i}{dt} = \rho \left( \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \partial_j u_i \right) = -\rho g_i - 2\rho \varepsilon_{ijk} \Omega_j u_k - \partial_i p + \eta \partial_j \partial_j u_i + \frac{\eta}{3} \partial_i \partial_j u_j \quad (1a)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\partial \theta}{\partial t} + u_j \partial_j \theta = \nu \partial_j \partial_j \theta - \frac{\partial_j Q_j^* - L_F E}{\rho c_{pd}} \quad (1b)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \partial_j (\rho u_j) = 0 \quad \leftrightarrow \quad \frac{d\rho}{dt} + \rho \partial_j u_j = 0 \quad (1c)$$

Itt  $t$  az idő,  $\underline{g}$  a gravitációs gyorsulás,  $\varepsilon_{ijk}$  a Levi – Civita-szimbólum,  $\underline{\Omega}$  a Föld-forgás szögsebessége,  $p$  a nyomás,  $\eta$  a dinamikai viszkozitás,  $\nu$  a hődiffúziós együttható,  $Q^*$  a napsugárzás fluxusa,  $L_F$  a fázisátalakulási hő,  $E$  a fázisátalakulást szenvedő anyagmennyiség,  $c_{pd}$  a száraz izobár fajhő.

## Feltételezések

A következőkben a hegyi hullámok méret- és időskáláján érvényesnek gondolt feltételezéseket vezetünk be:

1. Összenyomhatatlanság:  $\frac{d\rho}{dt} = 0 \Rightarrow \partial_j u_j = 0$

2. Föld-forgás elhanyagolása (nagy területre kiterjedő hullámok, illetve széles hegyek esetén nem igaz):  $\Omega_j = 0$
3. Hőforrástagok (fázisátalakulás és sugárzás) elhanyagolása (a lenticularisok képződésénél nem igaz):  $E = \partial_j Q_j^* = 0$
4. Súrlódásmentesség és a diffúzió elhanyagolása (gyakran nem igaz, főleg a határ-rétegben és erős szélnyírás esetén):  $\nu = \eta = 0$
5. Stacionaritás (a hullámok fázis- és csoportsebességének kiszámításához a nem-stacionárius egyenletet is ki kell számolni):  $\frac{\partial A}{\partial t} = 0$
6. Reynolds-felbontás:  $A = \bar{A} + A'$
7. Linearizáció (laminaritás, azaz a turbulencia elhanyagolása, az ezután maradó egyenletről a saját átlagát is kivonjuk):  $A'B' = 0$
8. Átlagos hidrosztatikusság:  $\partial_i \bar{p} = \bar{\rho} g_i$
9. Boussinesq-közelítés (az előző után a gravitáció előtt már nem szerepel a  $\bar{\rho}$ ):  $\rho' \ll \bar{\rho}$
10. Kétdimenziósság (gyakran igaz akkor is, ha a szél a hegyvonulatra nem merőlegesen fúj):  $\nu = \frac{\partial A}{\partial y} = 0$
11. Átlagos horizontális homogenitás:  $\frac{\partial \bar{A}}{\partial x} = 0$
12. Átlagos konvekciómentesség:  $\bar{w} = 0$
13. Nyomásperturbációk elhanyagolása (az állapotegyenlet Reynolds-felbontása és a saját átlagával való osztás után – ez vezet a potenciális hőmérséklet Poisson-féle definíciójával együtt a sűrűség és a potenciális hőmérséklet közötti áttéréshez):  $\frac{p'}{\bar{p}} \ll \frac{\rho'}{\bar{\rho}}$

## Egyszerűsített egyenletrendszer

Az állapotegyenlet  $p = \rho RT$  alakjának Reynolds-felbontása és linearizációja után a következő alakra jutunk:

$$\frac{\bar{p}}{R} + \frac{p'}{R} = \bar{\rho} \bar{T} + \bar{\rho} T' + \rho' \bar{T} \quad (2a)$$

Átlagolás után a lineáris tagok kiesnek:

$$\frac{\bar{p}}{R} = \bar{\rho} \bar{T} \quad (2b)$$

Utóbbit először kivonjuk az előbbiből, majd az eredményt elosztjuk vele, ezzel kapjuk meg a relatív perturbációk közötti összefüggést.

$$\frac{p'}{\bar{p}} = \frac{T'}{\bar{T}} + \frac{\rho'}{\bar{\rho}} \quad (2c)$$

Ebben alkalmazzuk a 13. feltevést:

$$\frac{\rho'}{\bar{\rho}} = -\frac{T'}{\bar{T}} \quad (2d)$$

A potenciális hőmérséklet definíciója hasonlóan alakítható át, de a nyomás felbontása nélkül, így az azt tartalmazó tényező a relatív perturbációból kiesik, így az előző egyenletben a hőmérséklet közvetlenül kicserélhető a potenciális hőmérsékletre:

$$\frac{\rho'}{\rho} = -\frac{\theta'}{\theta} \quad (2e)$$

Bevezethetjük a  $b$  felhajtóerő, az  $N$  Brunt – Väisälä-frekvenciát és a  $P'$  redukált nyomást.

$$b = g \frac{\theta'}{\theta} \quad N^2 = \frac{g}{\theta} \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} \quad P' = \frac{p'}{\rho} \quad (3)$$

Az egyszerűsítések bevezetése után a meridionális mozgásegyenlet kiesik. A kontinuitási egyenlet a perturbációk divergenciamentességére vezet. A másik két mozgásegyenletet az átlagos sűrűséggel osztva, valamint a termodinamikai egyenletet a  $\frac{g}{\theta}$  kifejezéssel szorozva egy négyismeretlenes egyenletrendszerre jutunk a horizontális és a vertikális sebességperturbáció, a redukált nyomásperturbáció és a felhajtóerő között. Alább a nem-stacionárius esetet írjuk fel, a stacionárius esetben az időderiváltak is eltűnnek.

$$\frac{\partial u'}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial u'}{\partial x} + w' \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \frac{\partial P'}{\partial x} = 0 \quad (4a)$$

$$\frac{\partial w'}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial w'}{\partial x} + \frac{\partial P'}{\partial z} = b \quad (4b)$$

$$\frac{\partial b}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial b}{\partial x} + w' N^2 = 0 \quad (4c)$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial w'}{\partial z} = 0 \quad (4d)$$

## Stacionárius hullámeqyenlet

Az ilyen lineáris egyenletrendszer megoldására alkalmazható a karakterisztikus egyenletrendszer felírása a perturbációk hullámalakjának feltételezésével, minket azonban most csak a vertikális sebességperturbáció érdekel. Elvégezve a  $\frac{\partial(4a)}{\partial x} - \frac{\partial(4b)}{\partial z}$  műveletet, behelyettesítve  $\frac{\partial b}{\partial x}$  tagot (4c)-ből kifejezve, majd (4d)-t felhasználva, az  $u'$ -ket tartalmazó tagokat  $w'$ -ket tartalmazó tagokra cserélve, a jól ismert Scorer-féle egyenletre jutunk:

$$\left[ \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \left( \frac{N^2}{\bar{u}^2} - \frac{1}{\bar{u}} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \right) \right] w' = 0 \quad (5)$$

Bevezetjük az  $\ell^2 = \frac{N^2}{\bar{u}^2} - \frac{1}{\bar{u}} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2}$  jelölést. E paramétert nevezik Scorer-paraméternek. Az első tag a stabilitási tag, a második a szélnyírási tag. Általában a szabad légkörben az első, a konvektív határrétegben a második tag dominál. Általában ez a paraméter függ a magasságtól, tehát

az egyenlet valójában függvényegyütthatós, azonban a valóság gyakran jól közelíthető néhány konstans Scorer-paraméterű réteggel, amelyekben azonban létezik analitikus megoldás is.

## Stacionárius diszperziós reláció

A vertikális sebességre hullámalakot feltételezve megkapjuk a diszperziós relációt, ami egy Pitagorasz-tétel:

$$k_x^2 + k_z^2 = \ell^2 \quad (6)$$

Itt a  $k_x$  vízszintes, a  $k_z$  függőleges irányú hullámszám. Ez az egyenlet azt jelenti, hogy a Scorer-paraméter gyöke valójában nem más, mint a hegyi hullámok hullámszámának a hossza. Ennek valójában abban van nagy jelentősége, hogy egy hullám adott körülmények között vertikálisan periodikus-e, amit később tárgyalunk.

## Nem-stacionárius hullámegyenlet

A (4a-c) egyenletekben a fő változókra ezúttal a  $\frac{\partial}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial}{\partial x}$  operátor hat. Először ezt érdemes a (4b) egyenletre haddatni, hogy a (4c) egyenletből a  $b$ -t tartalmazó kifejezést tudjuk helyettesíteni. Ekkor  $P'$  operátora bonyolódik, de a horizontális deriválás azzal felcserélhető az átlagos horizontális homogenitás (11. feltétel) miatt. Így az új (4b)-t horizontálisan deriválva, a (4a)-ra pedig a  $(\frac{\partial}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial}{\partial x}) \frac{\partial}{\partial z}$  haddatva elvégezhető a kivonás, és  $P'$  kiesik. Ezután (4d)-t felhasználva az előzőhöz hasonlóan az  $u'$ -k is kicserélhetők  $w'$ -kre. Így egy bonyolultabb differenciálegyenletre jutunk.

$$\left[ \left( \frac{1}{\bar{u}} \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \right)^2 \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) + \frac{N^2}{\bar{u}^2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{\bar{u}} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \left( \frac{1}{\bar{u}} \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \right) \frac{\partial}{\partial x} \right] w' = 0 \quad (7)$$

Érdemes észrevenni, hogy ebből az egyenletből a stacionárius alak előállításával (5) második horizontális deriváltját kapjuk, kétszeri integrálás után így az eredeti egyenlet inhomogén alakja áll elő.

## Nem-stacionárius diszperziós reláció

Ahhoz, hogy ebből az egyenletből a fázis- és csoportsebességre értelmezhető összefüggést kapjunk, a negatív előjellel szereplő szélnyírási tagot elhanyagoljuk. Így a diszperziós relációra a következőt kapjuk:

$$(\omega - \bar{u}k_x)^2 = \frac{(Nk_x)^2}{k_x^2 + k_z^2} \quad (8)$$

Érdemes észrevenni, hogy ez az  $\omega$  frekvenciára két megoldást ad, ebből azonban csak az egyik lesz fizikailag értelmes. Ezt később megadjuk a felső határfeltétel és a csoportsebesség segítségével egy speciális esetben. A  $c_f$  fázissebesség és a  $c_g$  csoportsebesség a szokásos definíciókkal számolható:

$$c_{f_x} = \bar{u} \pm \frac{N}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \quad c_{f_z} = \bar{u} \frac{k_x}{k_z} \pm \frac{Nk_x}{k_z \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \quad (9a)$$

$$c_{g_x} = \bar{u} \pm \frac{Nk_z^2}{(k_x^2 + k_z^2)^{3/2}} \quad c_{g_z} = \mp \frac{Nk_x k_z}{(k_x^2 + k_z^2)^{3/2}} \quad (9b)$$

A fázis- és csoportsebesség skalárszorzatára zérus adódik, vagyis e két sebesség merőleges egymásra. A hegyi hullámokban tehát az energia a hullámfrontokra merőlegesen terjed. A fázissebesség a stacionárius esetben feltehetőleg eltűnik, ezzel az alsó előjeleknek kellene tartoznia a fizikai megoldáshoz (a Scorer-paraméter nyírási tagjának elhanyagolásával ugyanis  $\ell = \frac{N}{\bar{u}} \Rightarrow c_{f_x} = \bar{u} \pm \bar{u}$ ). Általában azonban a fázissebesség mutathat a fázisvonalak irányába is, a csoportsebesség ekkor merőleges a hullámfrontokra, az márpedig nem tűnik el stacionárius esetben sem.

## Határfeltételek

A felszínen, ha a súrlódást elhanyagoljuk, a határfeltétel szerint a szélesebességvektornak a felszint kell követnie:

$$w'(x, h(x)) = \bar{u}(h(x)) \frac{dh(x)}{dx} \quad (10)$$

Ha a hegyek magassága sokkal kisebb a légkör vastagságánál, akkor a függvényekben a  $z$  helyén megjelenő  $h(x)$  körülbelül nullának vehető.

A felső határfeltétel kétféle lehet. Egyik határfeltételünk, hogy a légkör tetején a hullám amplitúdója tűnjön el. Ez azonban nem mindig teljesül, ezért mellékfeltételként kikötjük, hogy a hullámok csoportsebességének vertikális komponense a légkör tetején nem lehet pozitív (különben a hullám a világrból nyerné az energiát).

## Általános megoldás

Az általános megoldás olyan esetekben vezethető le, amelyekben a domborzat  $h(x)$  függvénye Fourier-transzformálható és a Scorer-paraméter a magassággal nem változik. Ekkor az (5) egyenletre hattanva az  $x$ -szerinti Fourier-transzformációt, egy közönséges differenciálegyenlet adódik  $z$ -ben, ugyanazzal a diszperziós relációval. Megjegyezzük, hogy a Scorer-paraméter állandóságát általában úgy kötjük ki például numerikus modellszimulációk futtatásakor, hogy izoterm légrétegződést és állandó átlagszelet teszünk fel. Ez általában nem szükséges, a Scorer-paraméter állandósága valójában egy differenciálegyenlet a hőmérsékleti és a szélprofil között: ha ismerjük az egyiket, akkor a másik kiszámítható.

Az alsó határfeltétellel együtt az egyenletrendszer a következőképpen alakul ( $\mathcal{F}$  a Fourier-transzformációt jelöli, a csillag a konvolúciót):

$$\hat{w}(k_x, z) = \mathcal{F}_x\{w'(x, z)\} \quad \hat{h}(k_x) = \mathcal{F}_x\{h(x)\} \quad (11a)$$

$$\hat{w}(k_x, z) = W e^{ik_z z} \quad (11b)$$

$$w'(x, z) = \bar{u}(z) \frac{dh(x)}{dx} * \mathcal{F}_{k_x}^{-1} \left\{ e^{i\sqrt{\ell^2 - k_x^2} z} \right\} \quad (12)$$

Utolsó egyenletünk az általános megoldás, amelyben a horizontális áramlásban inkorrekt módon jeleztük a magasságfüggést. Ha ez a függés olyan, hogy közben a Scorer-paraméter állandó marad, akkor lesz az egyenlet igaz ebben a formában.

## Speciális esetek

A következőkben négy speciális esetet tekintünk. Egy-, illetve kétrétegű légkörben, periodikus domborzat és izolált hegy fölött oldjuk meg a (12) egyenletet. Az egyes rétegekben a Scorer-paraméter és a horizontális szél állandó a magassággal, két réteg esetén a réteghatáron ugrást szenvednek. Az egyrétegű periodikus esetben a hullámok fázisvonalainak dőléséről következtethetünk. Az egyrétegű izolált hegy esete tulajdonképpen az általános megoldás. A kétrétegű periodikus esetben a hullámok réteghatárról történő visszaverődését vizsgálhatjuk, fontos következtetéseket levonva a teljes visszaverődés feltételeiről. A kétrétegű izolált esetben az előző felhasználásával pedig a hullámok csapdázódásának jelenségét írhatjuk le.

Érdemes megjegyezni, hogy ha az energiaterjedéssel is foglalkoznánk, annak korrekt leírásához három réteg lenne szükséges, a hullámzó középső réteg alatt egy instabil réteg bevezetése szükséges, amely a légkörben szerencsére általában jelen is van a planetáris határréteg formájában.

### Egyrétegű légkör, periodikus felszín – a hullámok dőlése

Legyen a domborzat  $H$  magasságú, egymástól  $L$  távolságra lévő szinusz hullámok sorozata. Ezeknek definiálhatjuk a  $K = \frac{2\pi}{L}$  hullámszámát.

$$h(x) = H \sin Kx \quad (13a)$$

$$\bar{u} \frac{dh}{dx} = \bar{u}HK \cos Kx \quad (13b)$$

Ekkor a megoldás a következőképpen alakul:

$$w'(x, 0) = \bar{u}HK \cos Kx \begin{cases} \cos \sqrt{\ell^2 - K^2} z & \ell^2 - K^2 > 0 \\ e^{-\sqrt{K^2 - \ell^2} z} & \ell^2 - K^2 < 0 \end{cases} \quad (14)$$

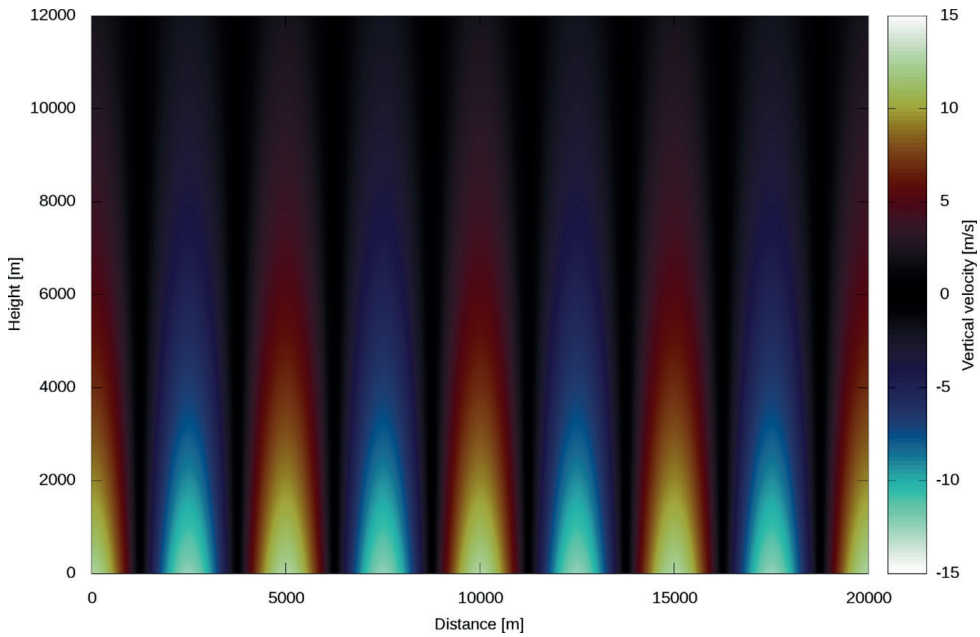
Látható, hogy a hullámok vertikálisan lehetnek elhalók (alsó eset) és periodikusak (felső eset) is. Utóbbi esetben szükséges, hogy a csoportsebesség vertikális komponense ne legyen pozitív. Ehhez (9a) jobb oldali tagjában az alsó előjelet kell választani, amely kiköti a többi egyenletben is az alsó előjel választását. A (14) egyenlet kétféle megoldását az 1. ábra és a 2. ábra szemlélteti.

A vertikálisan periodikus esetben a hullámok fázisvonalai a függőlegeshez képest  $\alpha$  szöggel dőltek, méghozzá a felső határfeltétel miatt szélnek hátrafelé. E dőlés szöge a hullámszám-komponensek ismeretében kiszámítható. Ez nem haladhatja meg a hegyek  $\beta$  legnagyobb meredekségét, különben az áramvonalak belemetszenének a hegyekbe. Ez a Scorer-paraméterre, illetve rajta keresztül a hőmérsékleti gradiensre ad megszorítást.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{L}{L_z} = \sqrt{\left(\frac{L\ell^2}{2\pi}\right) - 1} \quad (15a)$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{W}{u} = 2\pi \frac{H}{L} \quad (15b)$$

$$0 < \operatorname{tg} \alpha < \operatorname{tg} \beta \rightarrow \left(\frac{2\pi}{L}\right)^2 < \ell^2 < \left(\frac{2\pi}{L}\right)^2 \left[\left(2\pi \frac{H}{L}\right)^2 + 1\right] \quad (15c)$$



1. ábra

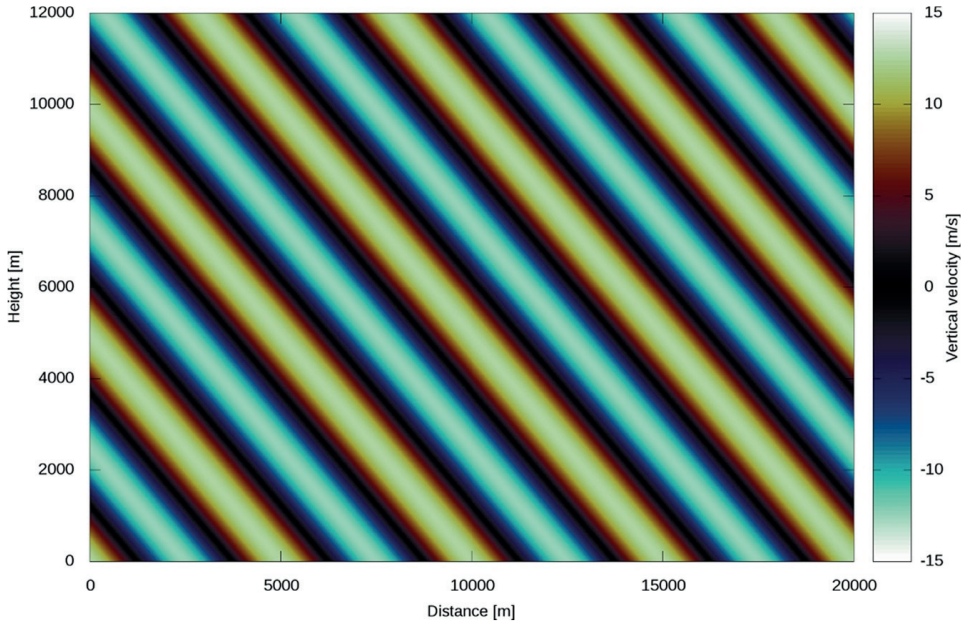
Vertikálisan elhaló hullámok egyrétegű légkörben, periodikus felszín felett.

Az ábrákon a vörös színek feláramlást, a kékesek leáramlást jelölnek. Az átlagszél balról jobbra fúj. [Salavec P. szerkesztése]

$$L = 5 \text{ km}, \quad H = 1 \text{ km},$$

$$\bar{u} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad T_0 = 300 \text{ K}, \quad \gamma = -5 \frac{\text{K}}{\text{km}}, \quad W_0 = \bar{u}HK = 12,566 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad \ell = 1.2478 \frac{1}{\text{km}},$$

$$k_z^2 = -0,0221 \frac{1}{\text{km}^2} \quad w(z) = \frac{W_0}{2} \rightarrow z = 4650 \text{ m}$$



2. ábra

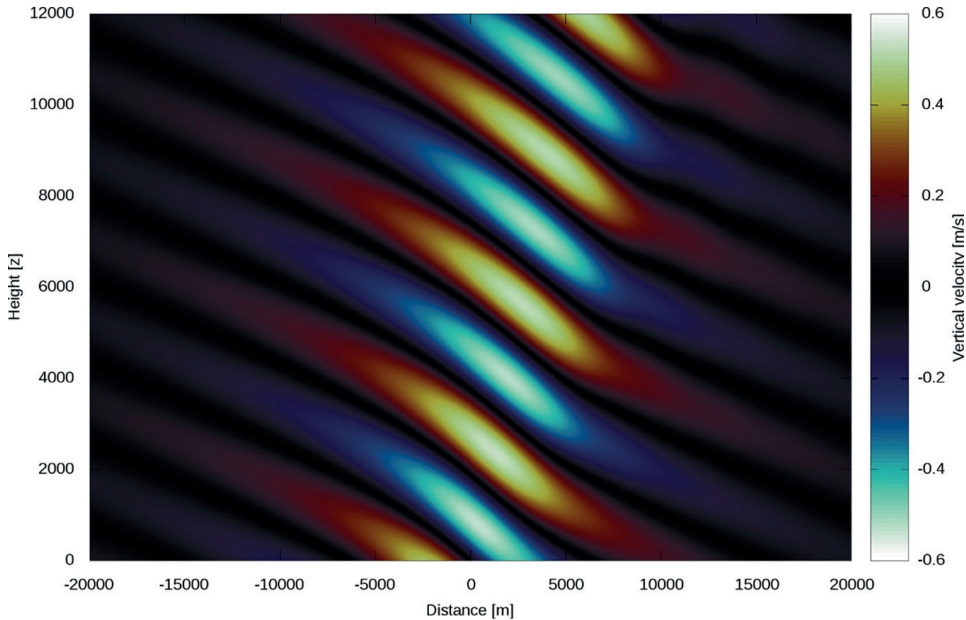
Vertikálisan periodikus hullámok egyrétegű légkörben, periodikus felszín fölött [Salavec P. szerkesztése]

Itt  $\gamma = 0$ ,

$$\ell = 1,7866 \frac{1}{\text{km}}, \quad k_z^2 = +1,61 \frac{1}{\text{km}^2}, \quad L_z = 4950 \text{ m.}$$

## Egyrétegű légkör, izolált hegy

Az egyrétegű légkörben izolált hegy fölött keletkező hullámok ekvivalensek a (12) egyenlet szerinti általános megoldással, ezt szemlélteti a 3. ábra.



3. ábra

*Izolált hegy felett kialakuló hullámok egyrétegű léggörben.* [Salavec P. szerkesztése]

$$h(x) = \frac{HL^2}{x^2 + L^2}, \quad \text{a hegy függvénye, ahol}$$

$$L = 2,5 \text{ km} \quad \text{a hegy szélessége.}$$

## Kétretegű léggör, periodikus felszín – Teljes visszaverődés

Két rétegű léggörben a léggör két különböző, de konstans Scorer-paraméterű rétegre bontható. Ekkor a két réteg határán az optikában is ismerthez némileg hasonló jelenségek (visszaverődés, törés stb.) zajlanak. Számunkra érdekes eset az, amikor az alsó léggörben a hullámok képesek lehetnek csapdázódni. Ez olyankor fordulhat elő, ha a felső rétegben a hullámenergia vertikálisan nem képes propagálni, ami lényegében az elhaló esetnek felel meg. Azaz, ha egy hullám az alsó rétegben vertikálisan periodikus, a felső rétegben pedig elhaló, akkor az alsó rétegben csapdázódhat.

A két réteg határán hasonló csúszási határfeltételt adhatunk meg, mint az alsó léggör alján. Az alsó réteg hullámai „hullámozgatják” a réteghatárt, a felső réteg alján pedig az áramlásnak ezt kell követnie. Mivel e konstrukcióban az  $\bar{u}$  átlagszél ugrást szenved, ezért a vertikális sebesség sem lehet ugyanaz a réteghatár két oldalán, csak azt tudjuk kikötni, hogy

a két sebességvektor legyen párhuzamos, ami a következő egyenletre vezet ( $L$  alsó indexszel jelöljük az alsó réteg változóit,  $U$  indexszel pedig a felső réteget):

$$\frac{w'_L(x,Z)}{\bar{u}_L} = \frac{w'_U(x,Z)}{\bar{u}_U} \tag{16}$$

A hullám a réteghatárról valamilyen  $r \leq 1$  reflexiók együtthatóval verődik vissza. Feltesszük, hogy a felszínen  $r = 1$ , vagyis teljes visszaverődés történik. Egy hullám így negatív és pozitív vertikális csoportsebesség-komponenssel is jelen van, ami az áramlási kép sakkáblaszzerű megjelenését idézi elő. Többszöri visszaverődés esetén az egyes visszavert módusok hozzáadódnak az amplitúdóhoz, ezért az amplitúdó a visszaverődési együttható függvényében megnövekszik.

$$W = \left(\frac{2r}{1-r} + 1\right) W_0 \tag{17a}$$

$$\lim_{r \rightarrow 1} W = \infty \tag{17b}$$

Észre kell venni a (17b) állítást, miszerint a teljesen visszaverődő hullámok amplitúdója formálisan végtelenné válik. Ennek később nagy jelentősége lesz.

A határfeltételekbe történő behelyettesítés után levezethető a hullámok csapdázódásának egy szükséges feltétele. A határfeltételből az alábbi kifejezésre jutunk, amelyből  $r = 1$  helyettesítéssel kifejezhető a dombok  $K$  hullámszáma és az alsó réteg  $\ell_L$  Scorer-paramétere közötti összefüggés. Ezt behelyettesítve abba, hogy a hullámot a felső rétegben elhalónak várjuk, végül a két Scorer-paraméter közötti különbségre kapunk egy alsó korlátot.

$$W_{nL} \cos k_{xL} x e^{ik_{zL} Z} = \frac{\bar{u}_L}{\bar{u}_U} W_{nU} \cos k_{xU} x e^{ik_{zU} Z} \tag{18a}$$

$$W_{nU} = W_{n-1L} (1-r) \quad W_{nL} = 2\bar{u}_L H K r^n W_0 \quad k_{xU} = k_{xL} = K \quad K^2 + k_z^2 = \ell^2 \tag{18b}$$

$$\frac{1}{r} - 1 = \frac{\bar{u}_L \cos \sqrt{\ell_L^2 - K^2} Z}{\bar{u}_U \cos \sqrt{\ell_U^2 - K^2} Z} \tag{18c}$$

$$r = 1 \Rightarrow \cos \sqrt{\ell_L^2 - K^2} = 0 \rightarrow K^2 = \ell_L^2 - \left[ \left( j + \frac{1}{2} \right) \frac{\pi}{Z} \right]^2 \tag{18d}$$

$$\ell_U^2 - K^2 < 0 \stackrel{(18d)}{\Rightarrow} \ell_L^2 - \ell_U^2 > \left( \frac{\pi}{Z} \right)^2 \tag{18e}$$

A fenti feltétel szerint a Scorer-paraméterek különbségének egy, a rétegvastagságtól függő értéket meg kell haladnia. Ezzel egyben azt is állítjuk, hogy csapdázódnak csak olyan hullámok lehetnek képesek, melyek vízszintes hullámszáma a két Scorer-hullámszám közé esik. Mindez pedig független a domborzattól.

## Kétrétegű légkör, izolált hegy – a csapdázódás

Izolált hegy fölött két réteg esetén az általános megoldás a reflexiót tartalmazó tényezővel módosul. Általában azonban a reflexió függ a hullámszámtól.

$$w'_L(x, z) = \bar{u}_L(z) \frac{dh(x)}{dx} * \mathcal{F}_{k_x}^{-1} \left\{ \left( \frac{2r(k_x)}{1-r(k_x)} + 1 \right) \cos \sqrt{\ell_L^2 - K^2 z} \right\} \quad (19)$$

Ha kiírjuk a Fourier-transzformációt és a konvolúciót, előbbi integrálban először kihasználhatjuk, hogy csak a két Scorer-paraméter között kell integrálnunk.

Fontos azt is megemlíteni, hogy a reflexió függ attól is, hogy a réteghatáron mekkora a lokális kilengés az amplitúdóhoz képest: teljes visszaverődést csak azok a hullámok szenvednek, amelyek vertikális hullámhossza feléne a rétegvastagság egész számú többszöröse.

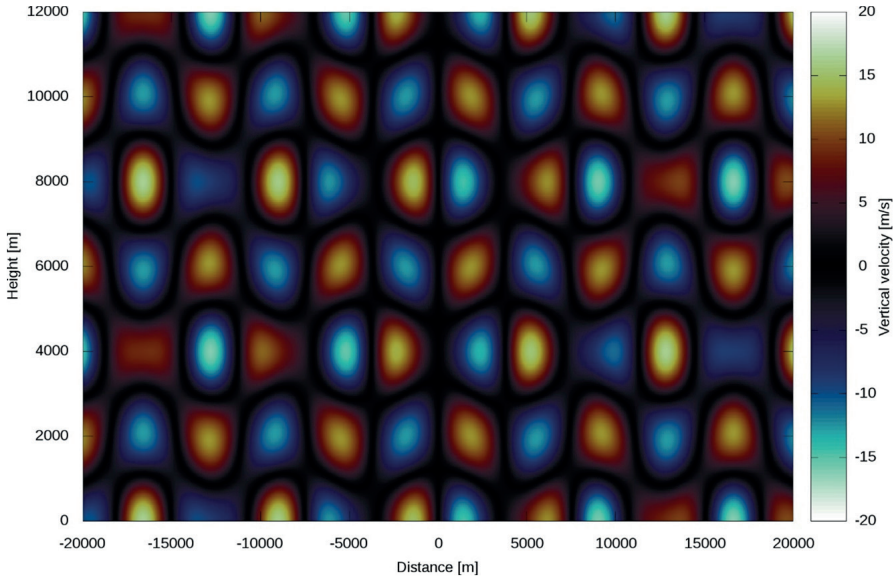
$$j \frac{\ell_{zL}}{2} = Z \rightarrow j < \frac{Z}{\pi} \sqrt{\ell_L^2 - \ell_U^2} \quad (20)$$

Ha azonban ezekre a hullámokra az amplitúdó végtelen, a többire pedig véges, akkor mindenképpen feltehetjük, hogy e hullámokhoz képest a többi elhanyagolható. Ezzel a Fourier-integrál egy diszkrét összeggé esik szét (általában a valóságban egy vagy két tagja lesz), ami viszont azt eredményezi, hogy az áramlási kép horizontálisan is periodikussá válik. Vezessünk be ezek után a reflexiót tartalmazó tényező helyett egy véges  $R$  tényezőt, az összeg a következőképpen alakul (4. ábra).

$$w'_L(x, z) = \frac{\bar{u}_L(z)R}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dh(x')}{dx'} \sum_{j=1}^{\lfloor \frac{Z}{\pi} \sqrt{\ell_L^2 - \ell_U^2} \rfloor} \cos \frac{j\pi z}{Z} e^{i\sqrt{\ell_L^2 - (\frac{j\pi}{Z})^2} (x-x')} dx' \quad (21)$$

A felső réteg hullámjai is kiszámíthatók. Ezek a feltételezések miatt elhalók lesznek, azonban fontos észrevenni, hogy ott a különböző hullámmódusoknak különböző mértékben csökken az amplitúdójuk a magasság szerint. Ez több csapdázott módus esetén a maximumhelyek görbülését okozzák a réteghatár közelében (5. ábra).

A csapdázódó hullámok formálisan végtelenné váló amplitúdójának következménye, hogy az eredeti feltételezéseink közül jó néhány sérülni fog, például az amplitúdó nem lesz kicsi, a szélnyírás lokálisan megnövekedhet, ami miatt a (mikroskálájú) nyírási turbulencia-produkciója történhet. Ilyenkor több elhanyagolást el kell vetnünk, tipikusan például a surlódást, amivel visszavezetjük a turbulenciát, illetve ezzel olyan másodlagos jelenségek is leírhatók lehetnek, mint például a rotorok. A turbulencia megjelenésével pedig annak energiakaszádja által a hullámokból energia „szökik el”, amelyek végesnek tartják a hullámok amplitúdóját is.



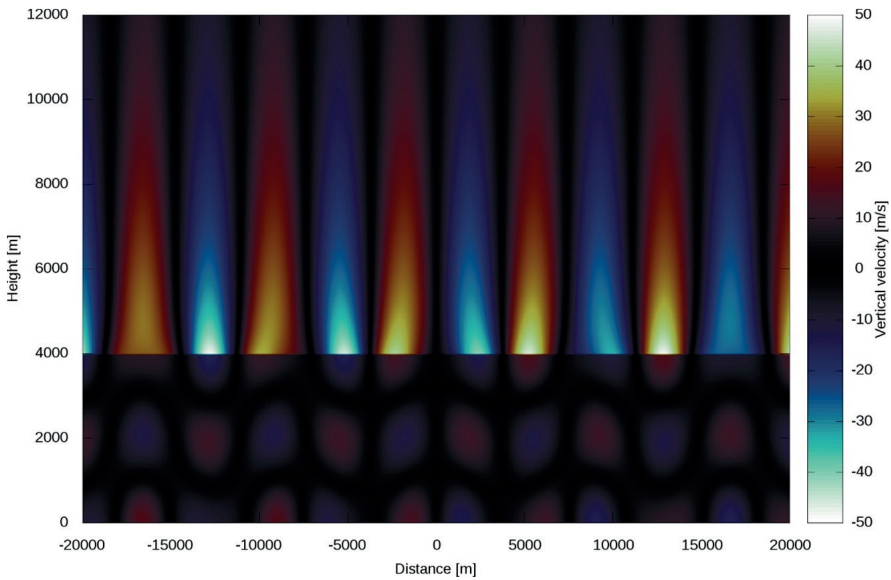
4. ábra

Két rétegű légkör csapdázott hullámai izolált hegy felett [Salavec P. szerkesztése]  $Z =$

$$4 \text{ km}, T(z=0) = 300 \text{ K}, \gamma_L = 0,$$

$$\gamma_U = -4,88 \frac{\text{K}}{\text{km}}, \bar{u}_L = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \bar{u}_U = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}, R = 1, \ell_L^2 = 3,2 \frac{1}{\text{km}^2}, \ell_U^2 = 0,177 \frac{1}{\text{km}^2},$$

$$L_{x_1} = 3,92 \text{ km}, L_{x_2} = 7,38 \text{ km}$$



5. ábra

A felső réteg hullámai a 4. ábra adatai alapján [Salavec P. szerkesztése]

## A turbulencia leírása, mérése és modellezése

A turbulencia tárgyalásánál mellőzzük a részletes számításokat a terjedelemi korlátok miatt. Annak részletei megtalálhatók például [18]-ban. A turbulencia elméletében az első megfontolások hasonlóak a hullámok elméletéhez. A Reynolds-átlagolás után itt azonban nem hanyagoljuk el a másodrendűen kicsi tagokat, hanem átlagoljuk az egyenletrendszeret. A változók átlagainak prognosztikus egyenletében ezzel megjelennek a másodrendű kovarianciák, amelyek a perturbációk szorzatainak átlagai. Ez azt jelenti, hogy a turbulens folyamatoknak hatásuk van a nagytérségű időjárásra is. Az is közismert ma már, hogy a turbulens folyamatok a teljes légköri energiaszállítás egyharmadért felelnek, ennek felfedezése kényszerítette ki azokat az elméleti munkákat a turbulencia modellezése tárgykörében, amelyek nagy fellendülést indítottak el a numerikus modellek pontosságának javulásában is az 1960-as években [19]. Később a modellezés valamelyest le is váltotta az elméleti munkát, hiszen különösen a kísérleti modellekben már olyan felbontást értek el, amellyel a „lényeges” turbulens jelenségek, mint amelyek például a repülés számára veszélyesek, már megjelentek a modellekben, intenzitásuk és a mikroskálájú turbulencia által szállított energia becslése többé-kevésbé kielégítő pontosságvá vált [20].

A turbulens karakterisztikák azonban nem ismertek. Eldönthetjük, hogy azokra is felírunk prognosztikus egyenletet, vagy pedig a már ismert elemekkel diagnosztizáljuk őket. Újabb és újabb prognosztikus egyenletek felírása a Reynolds-módszerrel azonban egyre magasabb rendű kovarianciák megjelenését (és egyben az egyenletek számának exponenciális növekedését) eredményezik, az egyenletrendszer sosem lesz zárt, tehát előbb-utóbb a diagnosztizálást kell választanunk. A lezárás rendje a diagnosztizált karakterisztikák rendjénél eggyel kisebb. Manapság operatív szolgálatban az első és másfeles rendű lezárási elméletek a legelterjedtebbek, ennél magasabb rendű lezárásokat csak a kísérleti modellekben használnak.

A lezárási elméletek kidolgozásának matematikai alapjait a Buckingham-féle dimenzióanalízis ( $\pi$ -elmélet, [21], [22]) adja. Ezzel bármelyik turbulens karakterisztikára (egyáltalán, bármilyen változóra) megalkotható egy parametrizáció a többi változó függvényében. A megjelenő konstansokat mérési adatsorokból állapíthatjuk meg [23]. Ez mikrometeorológiai mérési kampányok szervezését igényli. E kampányok során komplex, nagy pontosságú, és nagy sűrűségű mérések végzése szükséges [24], [25], rövid idő alatt igen nagy mennyiségű adat keletkezik. Ezek kezelése, feldolgozása szintén összetett feladat [26], az elméletek adatsorokra való alkalmazása előtt összetett minőségellenőrzési feladatok végrehajtása is szükséges [27].

E lezárási elméletek egy része (különösen a turbulencia intenzitásának előrejelzését célzó) általánosságban igaz, nem veszi figyelembe, hogy a határretegben vagyunk-e. Ugyanakkor ezeknek az elméleteknek is mikrometeorológiai mérésekre van szükségük, amelyeket többnyire a határretegben kiviteleznek, ezért ezen elméletek is szignifikánsan pontosabbak a határretegben, mint amilyen pontosak a szabad légkörben. Ezért szükséges lehet valamilyen módon mikrometeorológiai méréseket végezni a szabad légkörben is, amelyekre repülőeszközök alkalmazásával van esély. Ugyanakkor a repülőeszköz egy teljes mikrometeorológiai állomást nem tud szállítani, így e mérések is csak korlátozott mennyiségű és minőségű információk gyűjtésére alkalmasak. Ráadásul egy repülőeszköz, méretéből adódóan, valószínűleg szignifikánsan befolyásolja maga körül az áramlást, így rendkívül nehéz az alkalmazandó korrekciók meghatározása is, főleg annak tudatában, hogy ilyen korrekciókat még a felszíni mikrometeorológiai mérések alkalmával is nagy számban alkalmazunk [28].

Mindezek következtében a turbulencia előrejelzése során ma még mindig nagy bizonytalanságokkal szembesülnek a repülési előrejelzők. Az operatív modellek többsége ma már 1,5-es rendű lezárási elméletet alkalmaz, azonban a szabadlégköri turbulencia repülésmeteorológiai definíciókkal értelmezett intenzitásának meghatározása manapság aktív kutatási terület, némi javulást igen, átütő sikert azonban eddig nem sikerült elérni. Az előrejelzői gyakorlatban ezért ma még a szinoptikus szemlélet (a turbulenciával kapcsolatos konceptuális modellek alkalmazása), illetve a modellkimenetek alapparamétereiből (például szélesebesség, szélnyírás, esetleg deformáció) származtatható nulladrendű becslések alkalmazásai a népszerűbbek [29].

## Modellezési technikák

A közelmúltban indult kutatás az Országos Meteorológiai Szolgálatnál, ami a repülésmeteorológiai honlap (<http://aviation.met.hu>) Modell előrejelzések oldalán belül a Hullám aloldal bővítését célozza. E fejlesztés kezdeti lépéseiről [1] már beszámolt.

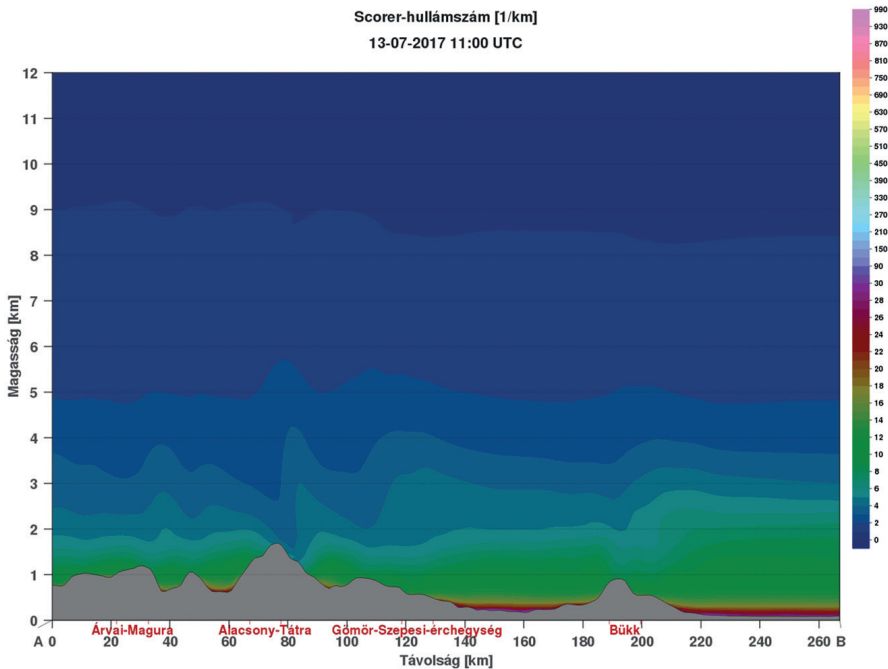
### Hullám-előrejelzés

A hegyi hullámok előrejelzése a fenti elméleten alapulva viszonylag könnyen kivitelezhető. Numerikus modellek eredményeiből a Scorer-paraméter egyszerűen számolható. A paraméterben megjelenő deriváltak közelítésének pontossága a vertikális felbontástól azonban erősen függ, így maga a paraméter is – különösen a felső troposzférában – csak viszonylag nagy pontatlansággal számolható.

A Scorer-paraméter az AROME-modellből már előáll. Jelenleg a horizontális szélesebesség abszolút értékeként számoljuk az  $\bar{u}$ -ot. A felszíni rétegben a logaritmusos szélprofil második deriváltja egy erősen negatív érték, maga a szélesebesség pedig kicsi, amely miatt a Scorer-paraméter mindkét tagja nagy pozitív értéket vesz fel, különösen, ha a határréteg stabil rétegződésű. Nem vesszük figyelembe a szélirány magasságfüggését sem.

A Scorer-paraméter viselkedésének ellenőrzésére visszamenőleg négy különböző napra futtattuk az AROME-modellt (2017. 04. 23., 2017. 07. 13., 2017. 10. 13., 2017. 12. 23.). Ezekben a futásokban az operatív modell 50hPa-s felbontása helyett 10hPa-t alkalmaztunk a felső troposzférában. Elsődleges észrevételek, hogy a Scorer-hullámszám a határrétegben általában sokkal nagyobb, mint a szabad légkörben, a határréteg fölött gyakran nem éri el az  $1 \frac{1}{km}$ -t sem, míg a határrétegben 10-es vagy 100-as nagyságrendű is lehet, amikor csapdázódás történik a valóságban (6. ábra).

Az esettanulmányok részletes feldolgozására egy MSc-diplomamunka keretén belül kerül sor. Többek között ez is alapjául fog szolgálni annak a dokumentációnak, amelyet a produktumok mellé csatolunk. E munka során fogjuk véglegesíteni a térbeli metszetek vonalait és az időbeli metszetek pontjait. Tervünk a Kárpát-medencei szondaadatokból történő Scorer-paraméter számításának elvégzése is. Ehhez érdemes átgondolni azt is, hogyan lehet figyelembe venni a szélirány magasság szerinti változását.



6. ábra

A Scorer-hullámszám a 2017. 10. 13. 00 UTC-s AROME-futtatásból aznap 11 UTC-re [Salavec P. szerkesztése]

A csapdázódás, illetve a csapdázódó hullámmódusok becslése azonban nem triviális, mivel a kvantálási jelenség miatt egymáshoz hasonló helyzetekben is teljesen eltérő hullámkép alakulhat ki. Adott helyzetben a valóságot közelíthetjük két- (vagy több-) rétegű modellel, a Scorer-paraméterek valamilyen átlagát véve az egyes rétegekben, ezzel pedig becsülhetjük, milyen hullámok fognak csapdázódni. Az amplitúdók becslése azonban az  $R$  paraméter bevezetésével bonyolódik, azt idealizált esetek szimulációjával szükséges kalibrálni.

## Verifikáció

Ezeknek az előrejelzéseknek a verifikációja azonban csak bonyolultan kivitelezhető. Használható mérési adatok nem állnak rendelkezésre. A Scorer-paraméter, illetve a többi használatos paraméter értékei szondafelszállások adataiból számolhatók. A hullámok kimutatása azonban célzott méréseket igényel. Erre leginkább megfelelőnek tűnik, ha a könnyűrepülő-pilótákkal kommunikáció zajlana, amelynek során visszajelzéseket kapnánk a hullámrepülés feltételeiről.

A használhatóság pontosabb feltérképezésére több eset vizsgálata lehet szükséges, hullámképződéshez mind kedvező, mind kedvezőtlen esetek. Ennek nagyobb relevanciája lesz az operatív modellbe való bevezetés után. Szükséges lehet összehasonlítani az operatív

(magaslégkörben 50 hPa felbontású) modell kimeneteit a kísérleti (10 hPa) modelljével is, hogy a durvább felbontás hatását is megvizsgáljuk.

## Turbulencia

A hegyi hullámokhoz kapcsolódóan gyakran jelennek meg olyan turbulens kísérőjelenségek, amelyek a kisértés repülés számára veszélyt jelentenek. Ezek megjelenésének oka, hogy – különösen a hullámok csapdázódása esetén – a hullámok viselkedése sért egyes kitételeket, amelyeket az elméleti leírás során alkalmaztunk. Például a csapdázódó hullámok amplitúdója az elmélet szerint is formálisan végtelenre nő, és a valóságban is nagy amplitúdókat tapasztalunk. A hullámok környezetében lokálisan megnövekedhet a szélnyírás, és labilisabbá válhat a levegő, ami a mikroskálájú turbulencia produkciójához vezethet.

$$e = \frac{u'_j u'_j}{2} \quad \frac{de}{dt} = -\overline{u'_j u'_j \partial_i \bar{u}_j} - \partial_i \overline{u'_i e} + \frac{g_i}{\theta} \overline{u'_i \theta'} - \frac{1}{p} \partial_i \overline{u'_i p'} - \varepsilon \quad (22)$$

E jelenségek méretskálája azonban többnyire a numerikus modellek rácsfelbontásánál kisebb mérettartományba esik. Az általunk használt AROME numerikus modell [30] például 2,5 km horizontális felbontású, így dinamikája a körülbelül 4-5 km-nél hosszabb hullámokat tudja leírni. Parametrizációja 1,5-es rendű lezárást használ, amiben a turbulens kinetikus energiára (TKE, képletben, (22) egyenlet) prognosztikus egyenlet szerepel [31]. Ez a parametrizáció eredetileg a határréteg turbulenciájának leírására lett kifejlesztve, az alapelmélet azonban nem tételezi fel, hogy a határrétegben dolgozunk. Ezt kihasználva vizsgálható a turbulens kinetikus energiából előállított különböző turbulens karakterisztikák (turbulens diffúziós együttható, keveredési hossz, Richardson-szám stb.) viselkedése a szabad légkörben is.

A TKE teljes időbeli megváltozását előidéző tagok sorrendben a szélnyírás, a TKE turbulens transzportja, a konvektív felhajtóerő turbulens transzportja és a hőtranszport (statikus stabilitás), valamint egy közvetlen disszipációs tag (az energiakaszád következménye).

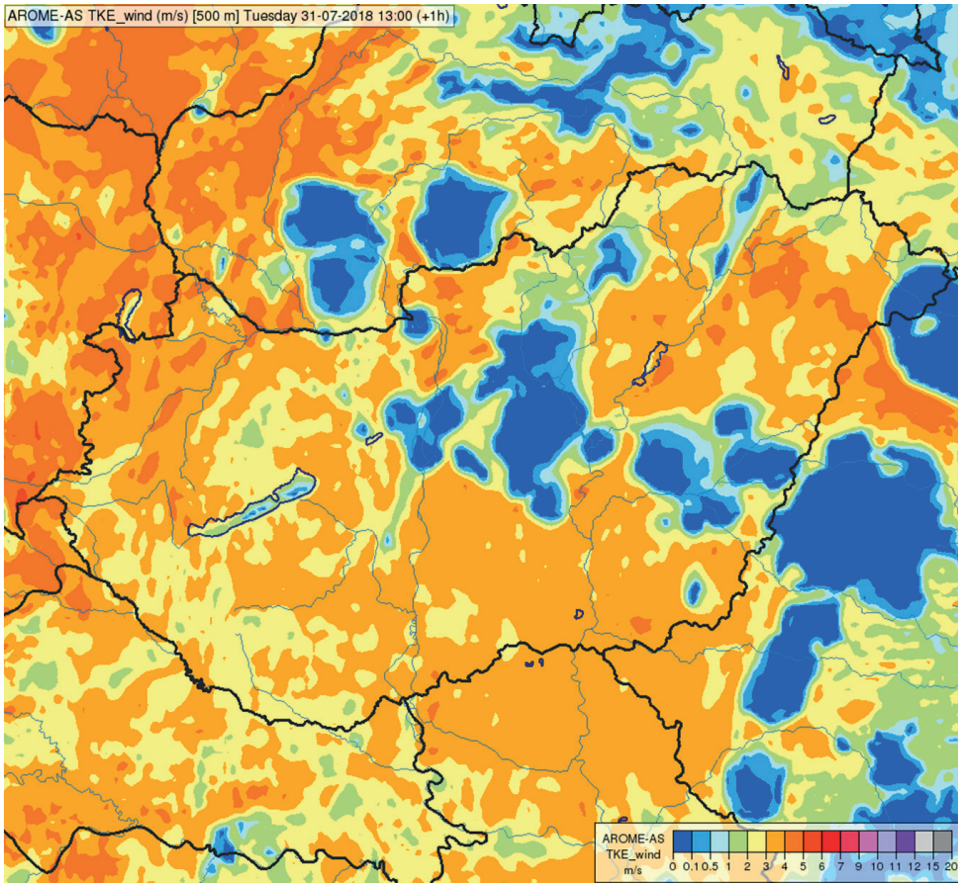
Az OMSZ-nál folyó egyik párhuzamos kutatás eredetileg az AROME-modell turbulencia-előrejelzésének javítását célozza. A turbulencia előrejelzése ugyanis jelenleg a modellek számára nagy kihívást jelent. A kutatás során többek között a fent említett turbulens karakterisztikák vizsgálata zajlott. A megállapítások egyike, hogy a legnagyobb alábecslések hegyi hullámos helyzetekben történnek, ezért ilyen esetek futtatása történt a turbulencia vizsgálatára.

Az általános tapasztalat, hogy a turbulens kinetikus energia a modellben a szabad légkörben gyakorlatilag zérus, a határrétegben értelmezhető, illetve olyan rétegekben jelenik meg, ahol  $Ri < 1$  és a rétegződés nem stabil.

A szellőkés (gust factor, az alapszél arányában kifejezve) a TKE alapján parametrizált érték, amely annyi kinetikus energiával rendelkezik, mint amennyi a TKE. Érdekes, hogy ha a modell zivartart vár egy területre, annak környezetében a hideg, stabil szétáramlásban a TKE, és így a szellőkés is, megszűnnek a modellben (7. ábra).

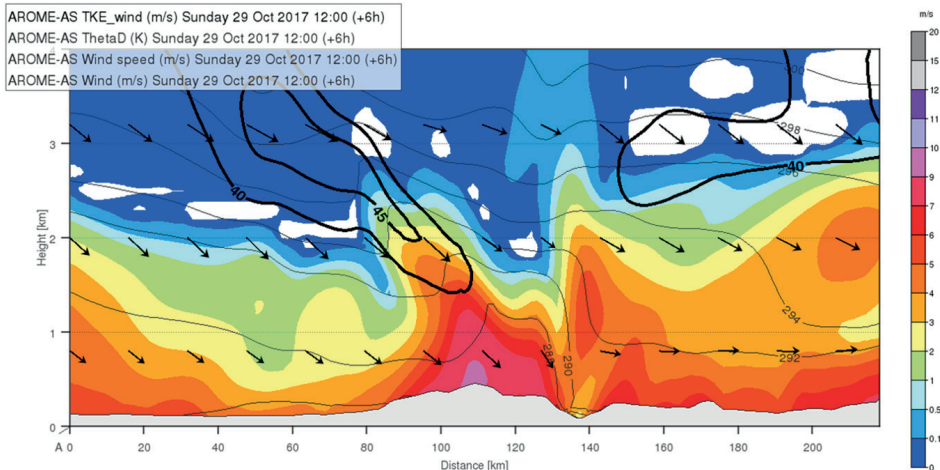
A gust factor előnye, hogy a felszíni mérőhálózat adatainak felhasználásával verifikálható a talajszinten, a számításában megjelenő konstans azonban magasságfüggő lehet. A neutrális határrétegben általában 1,2–1,8 közötti értékek adódnak, ennél nagyobbak (akár 3–4) általában zivatarokhoz kapcsolódóan alakulnak ki, amelyek azonban a modellben általában

nem jelennek meg. A magasabb rétegekben a gust factor méréséhez windprofiler, LIDAR vagy mérőtornyon elhelyezett nagy frekvenciájú mérőműszer adataira lenne szükség, ezek térbeli sűrűsége azonban túl alacsony elegendően nagyszámú adat előállítására.



7. ábra

500 m TKE 2018. július 31-én 13 UTC-kor az aznapi 12 UTC-s futásból  
A modell által kitermelt zivatarok hideg légtömegében alacsony TKE-értékek jelennek meg (kék foltok).  
[Simon A. szerkesztése]



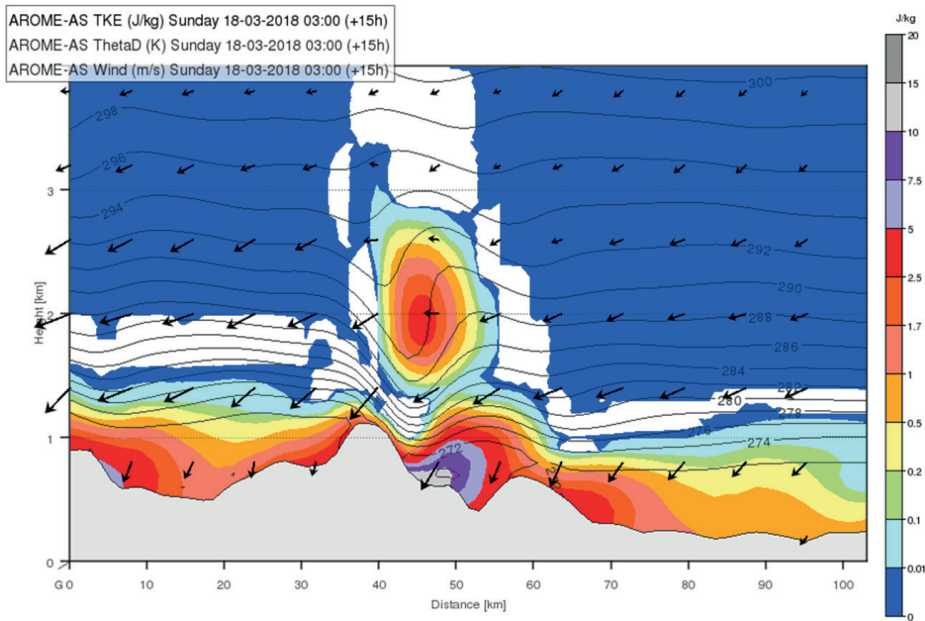
8. ábra

A TKE (szin) alakulása hidegfront környezetében

A front 140 km-nél jár (vékony vonal: nedves potenciális hőmérséklet) és jobbra halad. Középen a Bakony fölött megjelenő turbulencia a jet (vastag vonal) leszálló ága alatt lokálisan erős szélgyírás hatására jön létre.

[Simon A. szerkesztése]

Instabil hidegfrontok közelében a fronthoz kapcsolódó mély konvekcióban, valamint a front mögötti hidegebb, de labilis rétegződésű légtömegben is magas turbulens kinetikus energiaértékeket parametrizál a modell (8. ábra). Egy lejtővihar esetében a modell a lejtő mentén, különösen a hegy lábánál, valamint a megjelenő hidraulikus ugráshoz hasonló intenzív feláramláshoz kötődő turbulencia szintén megjelenik a modellben (9. ábra). Ugyanakkor a hegyi hullámok megjelenéséhez kötődő jelenségek ebben az esetben sem jelennek meg. A széles, modell által is jól „látható” hullámok környezetében nehezebben alakulnak ki a turbulens kísérőjelenségek, különösen, ha nincs lejtővihar. A kisebb hullámok – és vele együtt a kísérőjelenségek – hullámhossza pedig már a modellrács alá esik. Ezért a csapdázott hullámok esetében fordul elő a legnagyobb valószínűséggel a turbulencia jelentős alábecslése a modellben.

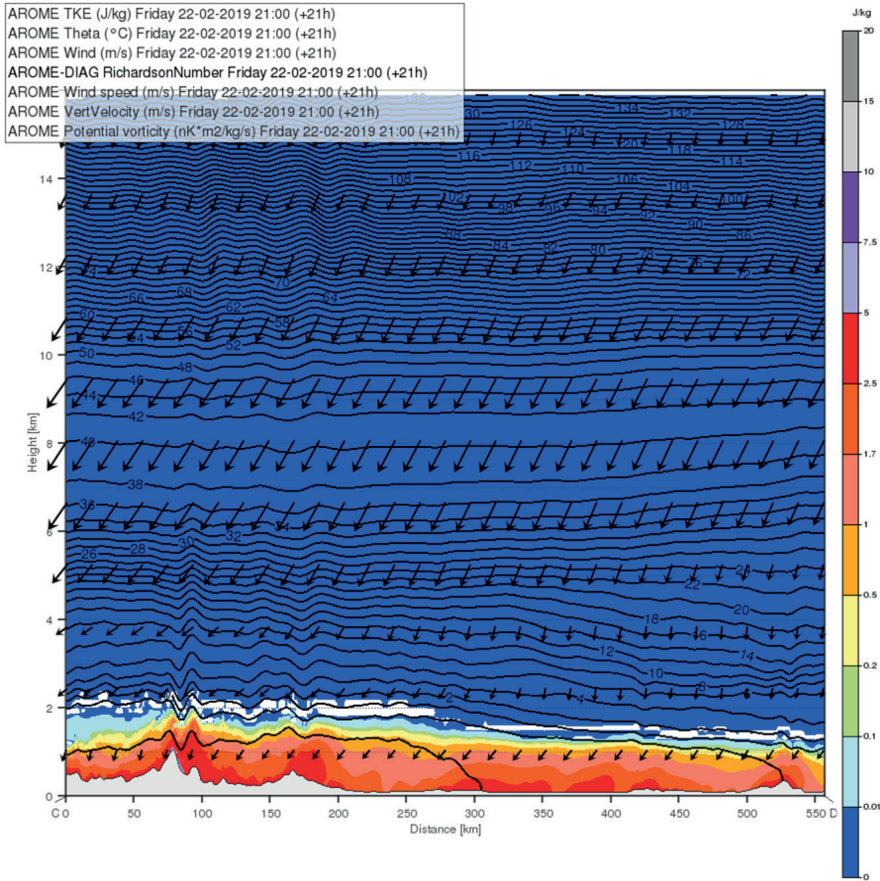


9. ábra

*Lejtővihar környezetében kialakuló turbulencia  
(szín: TKE, vonal: nedves potenciális hőmérséklet [Simon A. szerkesztése])*

Különösen nagy problémát jelent még a magaslégköri turbulencia, főleg a CAT (clear-air turbulence) modellezése. Erős jet nagy szélnyírású övezetében sem találunk kimutatható TKE-t a modellekben (10. ábra). Annak ellenőrzésére, hogy a parametrizációk a stabilitás miatt fojtják-e el a turbulenciát, a Richardson-szám alkalmas lehet. Ennek 0,25 és 1 közé eső értéke esetén a légréteg többnyire megtartja turbulens tulajdonságát, 0,25 alatt turbulenciatermelés, 1 fölött pedig disszipáció történik. Ha a jet körüli erős szélnyírású rétegben a Richardson-szám 1 alatt alakul, akkor a turbulencia jelenléte azon mulhat, hogy korábban generálódhatott-e benne turbulencia valamilyen hatásra. Ilyen hatás lehet például hegyek fölötti átkeléskor a tropopauza alatt gyakran megjelenő hegyihullám-törés, amelynek turbulenciája aztán a jet által transzportálódhat. Repülési biztonság szempontjából érdemes az ilyen rétegekben turbulenciát jelezni.

Ilyen esetekben az előrejelzések sikeressége nem követhető nyomon: turbulencia előrejelzése (főleg például érvényben lévő SIGMET) esetén ugyanis a repülőgépek a területet általában elkerülik, ezért nem érkezik jelentés arról, valóban kialakult-e turbulencia.



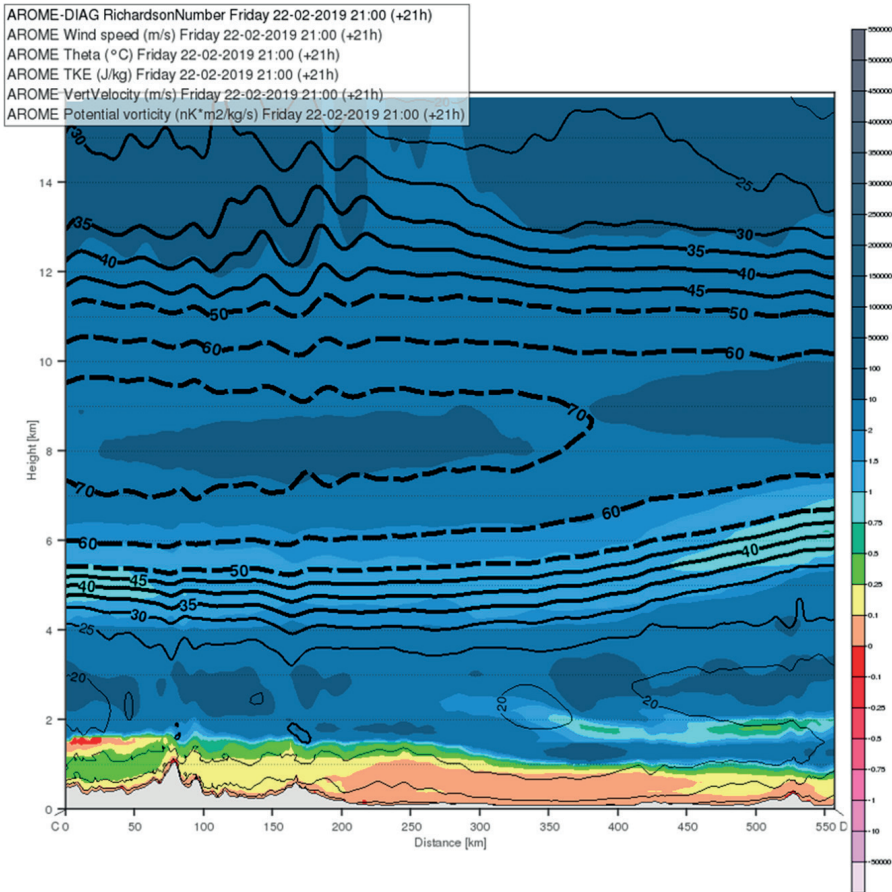
10. ábra  
 TKE (szín) erős jet környezetében 2019. február 22-én 21 UTC-kor az aznapi 0 UTC-s futás alapján  
 A TKE a határréteg fölött mindenhol  $0,01 \frac{m^2}{s^2}$  alatt alakul [Simon A. szerkesztése]

[32] a turbulencia (aircraft turbulence) kategóriák definícióját a turbulencia örvényes disszi-  
 pációjának  $l_\varepsilon$  keveredési hosszal parametrizált értékéhez megadott határértékekkel adja meg:

$$\varepsilon = C_\varepsilon \frac{e^2}{l_\varepsilon} \quad (23)$$

A keveredési hossz körülbelül a turbulens örvények méretével ekvivalens. Egy repülőre a tur-  
 bulencia viszont akkor hat a legerősebben, ha a turbulens örvények mérete a repülő mére-  
 teivel összemérhető. Ebből következik, hogy ha a keveredési hossz összemérhető a repülő  
 méreteivel, akkor a pilóta turbulenciát fog tapasztalni. Az örvényes disszipáció azonban annál  
 hatékonyabb, minél kisebb a keveredési hossz, hiszen a nagyobb örvények nem rögtön hővé,  
 hanem először kisebb örvényekké esnek szét. Ez a módszer ezért – amellet, hogy erősen

géptípusfüggő – nagyobb és nagyobb repülőgépek esetén egyre pontatlanabb előrejelzést ad a repülőgép által észlelt turbulencia intenzitására.



11. ábra

A Richardson-szám (szín) a 10. ábra esetében [Simon A. szerkesztése]

8 km magasan a jet-magban kb.  $75\frac{m}{s}$  körüli sebesség alakult ki. Alatta a kép bal szélén 5 km magasságban a Richardson-szám 1 alá csökkent, a hegyek fölötti hullámszásban ez könnyen turbulenciát generálhatott, ami azonban a TKE-ben nem jelent meg.

Az eredményekből úgy tűnik, a turbulencia modellezése az újonnan bevezetett parametrizációk ellenére néhány téren további jelentős fejlődésre van szükség. Ennek érdekében érdemes átgondolni az átfogóbb elméleti munkát. Hegyi hullámos esetekben, ahol a legnagyobb hiányszágokat tapasztaljuk, a turbulencia parametrizációját oly módon alkothatnánk meg, hogy a leírás során figyelembe vesszük a hegyi hullámok jelenlétét. Erre lehetőséget adhat például többskálájú Reynolds-dekompozíció alkalmazása az alapegyenletekre, amiben egy hullám- és egy turbulens skála kapna szerepet, így esetleg megjelenhetnek olyan tagok a hullámokat vagy a turbulenciát leíró egyenletekben, amelyek a két skála közötti kölcsönhatás jelenlétére utalnak. Az ilyen irányú elméleti munka azonban részletes kísérleti modellezést és mérést

kampányokat igényelne, ebből az utóbbi kivitelezése jelenleg különösen körülményesnek mutatkozik. A két kutatás (a hullám-előrejelzés és a turbulencia-modellezés fejlesztése) ezen a ponton találkozik, a közelmúltban kezdődött közös munka a jövőben olyan irányt vehet, ahol a cikkben tárgyalt problémák kutatása esetleg nagyobb szerepet kaphat.

A cikk első felében leírt elmélet – amellett, hogy idén ünnepli 70., leírója pedig 100. születésnapját – a hullámok főbb tulajdonságainak megértésében alapvető fontosságú. Emellett ahhoz is alapot teremthet, hogy a hullámturbulencia leírásának elméleti hátterét kidolgozhassuk, a egyes turbulens-hullámszerű áramlások többszáljű leírásakor kapott eredmények között ugyanis a hullámtulajdonságoknak szintén meg kell jelenniük, így ahhoz összehasonlítási alapot is teremt, amit szem előtt kell tartanunk.

## Összefoglalás

Az Országos Meteorológiai Szolgálat Repülésmeteorológiai Osztályán zajló fejlesztés a repülés-meteorológiai honlap Modell előrejelzések – Hullám aloldalának fejlesztését célozza. A fejlesztés kapcsán az AROME-modellből Scorer-paramétert állítunk elő, amelynek viselkedését esettanulmányokon keresztül vizsgáljuk egy MSc-diplomamunka keretében. Ez a munka alapjául szolgál majd a produktumokhoz csatolandó dokumentációnak is. A továbbiakban szükség lehet a visszajelzésekre a pilóták felől a produktumok használhatóságáról.

A turbulencia előrejelzése bizonyos esetekben – különösen akkor, ha hegyi hullámok csapdázódnak – komoly nehézségekbe ütközik. Az ezt célzó, eredetileg független kutatás a közelmúltban összekapcsolódott a hullám-előrejelzés fejlesztését célzó kutatással. Cél e téren a turbulencia előrejelzésének általános javítása. Mivel az egyik legnagyobb hiány a hegyi hullámokhoz kapcsolódó turbulencia előrejelzésében tapasztalható, ennek modellezéséhez érdemes lehet részletesebb elméleti munka végzése is, ami a közös kutatás egyik lehetséges irányát jelöli ki. Az eredmények, új paraméterek a HAWK-3 használatával megjeleníthetők, így amint az operatív modellbe bevezethetők lesznek, azokat az előrejelző szolgálatot teljessé is láthatják.

## Hivatkozások

- [1] P. Salavec, „Fejlesztések a hullám-előrejelzés terén az Országos Meteorológiai Szolgálatnál,” *Repüléstudományi Közlemények*, 30. évf. 1. sz. pp. 77–98. 2018.
- [2] S. B. Vosper, „Inversion effects on mountain lee waves,” *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 130, no. 600, pp. 1723–1748, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1256/qj.03.63>
- [3] H. Ágústsson and H. Ólafsson, „Simulations of Observed Lee Waves and Rotor Turbulence,” *Monthly Weather Review*, vol. 142, no. 2, pp. 832–849, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1175/mwr-d-13-00212.1>
- [4] M. Udina, M. R. Soler and O. Sol, „A Modeling Study of a Trapped Lee-Wave Event over the Pyrénées,” *Monthly Weather Review*, vol. 145, no. 1, pp. 75–96, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1175/mwr-d-16-0031.1>

- [5] C. A. Clayson and L. Kantha, "On Turbulence and Mixing in the Free Atmosphere Inferred from High-Resolution Soundings," *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 25, no. 6, pp. 833–852, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1175/2007jtecha992.1>
- [6] D. Butler, "Glider aims to break world record – and boost climate science," *Nature*, vol. 536, no. 7615, pp. 134–135, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/536134a>
- [7] R. Millane, N. Zhang, E. Enevoldson and J. Murray, "Using data from high-altitude sailplane flights to study atmospheric mountain waves," In XXXIII OSTIV CONGRESS Congress Program and Proceedings, Braunschweig, Germany, Technische Universität Braunschweig, 2017, pp. 53–54.
- [8] J. Sachsperger, S. Serafin and V. Grubišić, "Dynamics of rotor formation in uniformly stratified two-dimensional flow over a mountain," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 142, no. 696, pp. 1201–1212, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.2746>
- [9] C. F. Mass, R. Conrick, N. Weber and J. P. Zagrodnik, "The Quinalt Blow Down: A Microscale Wind Event Driven by a Mountain-Wave Rotor," *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 100, no. 6, pp. 977–986, 2019, p. 29. DOI: <https://doi.org/10.1175/bams-d-18-0232.1>
- [10] A. Mahalov, "3D Dynamics and Turbulence Induced by Mountain and Inertia-Gravity Waves in the Upper Troposphere and Lower Stratosphere (UTLS)," In Proc. 6th AIAA Theoretical Fluid Dynamics Conference, Honolulu, Hawaii, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2011, p. 3930. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2011-3930>
- [11] J. D. Doyle, Q. Jiang and P. A. Reinecke, "Numerical Modeling and Predictability of Mountain Wave-Induced Turbulence and Rotors," in *Aviation Turbulence – Processes Detection, Prediction*, R. Sharman and T. Lane Eds. Switzerland: Springer, Cham, 2016, pp. 357–384. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23630-8\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23630-8_18)
- [12] R. Plougonven and F. Zhang, "Gravity Waves Generated by Jets and Fronts and Their Relevance for Clear-Air Turbulence," in *Aviation Turbulence – Process, Detection, Prediction*, R. Sharman and T. Lane Eds. Switzerland: Springer, Cham, 2016, pp. 385–406. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23630-8\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23630-8_19)
- [13] M.-V. Guarino, M. A. C. Teixeira, T. L. Keller és and R. D. Sharman, "Mountain-Wave Turbulence in the Presence of Directional Wind Shear over the Rocky Mountains," *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 75, no. 4, pp. 1285–1305, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1175/jas-d-17-0128.1>
- [14] A. E. Cohen, S. M. Cavallo, M. C. Coniglio and H. E. Brooks, "A Review of Planetary Boundary Layer Parameterization Schemes and Their Sensitivity in Simulating Southerastern U.S. Cold Season Severe Weather Environments," *Weather and Forecasting*, vol. 30, no. 3, pp. 591–612, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1175/waf-d-14-00105.1>
- [15] M. Bramberger, A. Dörnbrack, H. Wilms, R. Sharman and A. Schäfler, "Turbulence encounter by the research aircraft HALO above Iceland during NAWDEX – A case study to analyze the generation mechanism," in Proc. EGU General Assembly Conference Abstracts, Vienna, Austria, 20th EGU General Assembly, 2018, p. 14231.
- [16] F. Zhang, J. Wei, M. Zhang, K. P. Bowman, L. L. Pan, E. Atlas and S. C. Wofsy, "Aircraft measurements of gravity waves in the upper troposphere and lower stratosphere during the START08 field experiment," *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 15, no. 13, pp. 7667–7684, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-15-7667-2015>

- [17] R. S. Scorer, "Theory of waves in the lee of mountains," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 75, no. 323, pp. 41–56, 1949. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.49707532308>
- [18] R. B. Stull, *An Introduction To Boundary Layer Meteorology*. Dordrecht: Springer, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3027-8>
- [19] I. van der Hoven, "Power spectrum of horizontal wind speed in the frequency range from 0.0007 to 900 cycles per hour," *Journal of Meteorology*, vol. 14, no. 2, pp. 160–164, 1957. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1957\)014<0160:psohws>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1957)014<0160:psohws>2.0.co;2)
- [20] A. R. Clark, H. J. Ferziger and W. C. Reynolds, "Evaluation of subgrid-scale models using an accurately simulated turbulent flow," *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 91, no. 1, pp. 1–16, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1017/s002211207900001x>
- [21] E. Buckingham, "On Physically Similar Systems; Illustrations of the Use of Dimensional Equations," *Physical Review*, vol. 4, no. 4, p. 345, 1914. DOI: <https://doi.org/10.1103/physrev.4.345>
- [22] A. A. Sonin, "A generalization of the Pi-theorem and dimensional analysis," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 101, no. 23, pp. 8525–8526, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0402931101>
- [23] X. Lee, W. Massman and B. Law, *Handbook of Micrometeorology: a guide for surface flux measurement and analysis*, vol. 29, Dordrecht: Springer, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/1-4020-2265-4>
- [24] Á. V. Tordai, *Mikrometeorológiai mérőrendszer kialakítása és alkalmazása síkvidéki, magashegyi és barlangi körülmények között*. Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem, 2016.
- [25] M. Aubinet, T. Vesala and D. Papale, *Eddy Covariance – A Practical Guide to Measurement and Data Analysis*. Dordrecht: Springer, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2351-1>
- [26] Á. V. Tordai, *Adatfeldolgozási módszerek fejlesztése a 2015-ös PABLS határréteg mérési program során*. Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem, 2015.
- [27] Th. Foken and B. Wichura, "Tools for quality assessment of surface-based flux measurements," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 78, no. 1-2, pp. 83–105, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(95\)02248-1](https://doi.org/10.1016/0168-1923(95)02248-1)
- [28] M. Mauder and T. Foken, *Documentation and Instruction Manual of the Eddy-Covariance Software Package TK3*. Arbeitsergebnisse Nr. 62, Bayreuth: Universität Bayreuth, 2015.
- [29] R. Sharman and T. Lane, *Aviation Turbulence – Processes, Detection, Prediction*. Switzerland: Springer, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23630-8>
- [30] Y. Seity, P. Brousseau, S. Malardel, G. Hello, P. Bénard, F. Bouttier, C. Lac and V. Masson, "The AROME-France Convective-Scale Operational Model," *Monthly Weather Review*, vol. 139, no. 3, pp. 976–991, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1175/2010mwr3425.1>
- [31] J. Cuxart, P. Bougeault and J. L. Redelsperger, "A turbulence scheme allowing for mesoscale and large eddy simulations," vol. 126, no. 562, pp. 1–30, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.49712656202>
- [32] International Civil Aviation Organization, "Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation – Meteorological Service for International Air Navigation, 20th ed.," *International Civil Aviation Organization*, Montréal, 2018. [Online]. Elérhető: <http://store.icao.int/products/annex-3-meteorological-service-for-international-air-navigation> (Letöltve: 2020. 02. 17.)

## DIAGNOSTICS OF TURBULENCE AND MOUNTAIN WAVE GENERATION IN AVIATION FORECASTING AT THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

A research at the Unit of Aviation Meteorology, Hungarian Meteorological Service aims to extend the website part (<http://aviation.met.hu>) for Wave Gliding within Model Forecasts. The first author reported the first steps of this research in a previous article. Some of the planned tasks are already completed, and the research also opened towards new directions. The Scorer-parameter is implemented in the AROME model and is available for some case studies; the next step will be to prepare implementing for operative use in the near future. The evaluation of the case studies is part of an MSc thesis. This research became connected with another, formerly independent research by the co-authors dealing with turbulence forecasting. Their research aims to improve free-atmospheric turbulence modelling in general, by development of parameterisations. One of their conclusions were that underestimation of turbulence is probably significant when trapped lee waves appear. Thus, we plan to work jointly.

**Keywords:** aviation meteorology, mountain wave, turbulence, AROME, parameterisations

---

Salavec Péter MSc  
Repülésmeteorológus  
Országos Meteorológiai Szolgálat  
Repülésmeteorológiai Osztály  
salavec.p@met.hu  
<https://orcid.org/0000-0001-5126-192X>

Péter Salavec MSc  
Aviation Forecaster  
Hungarian Meteorological Service  
Unit of Aviation Meteorology  
salavec.p@met.hu  
<https://orcid.org/0000-0001-5126-192X>

---

Simon André PhD  
Meteorológus  
Országos Meteorológiai Szolgálat  
Veszélyjelző Osztály  
simon.a@met.hu  
<https://orcid.org/0000-0001-9944-4442>

André Simon PhD  
Meteorologist  
Hungarian Meteorological Service  
Unit of Severe Weather Forecasting  
simon.a@met.hu  
<https://orcid.org/0000-0001-9944-4442>

---

Szintai Balázs PhD  
Meteorológiai fejlesztő  
Országos Meteorológiai Szolgálat  
Módszerfejlesztési Osztály  
szintai.b@met.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-4111-9396>

Balázs Szintai PhD  
Meteorological Developer  
Hungarian Meteorological Service  
Unit of Methodology Development  
szintai.b@met.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-4111-9396>

---



VÁKÁT OLDAL

Vránics Dávid Ferenc, Palik Mátyás

## Mission as a Service – Egy felhőalapú UAS megvalósítása

*A pilóta nélküli légi járművek – drónok – és a felhőalapú rendszerek napjainkra közismert, széles körben alkalmazott ágazatai a modern technológiának. A Mission as a Service – „szolgáltatás-ként nyújtott küldetés” már nem csak egy utópista jövőkép, a jelen technológiája lehetőséget ad UAV<sup>1</sup>-ok interneten át történő, akár tömeges távirányítására. Kutatásunk részét képezi egy felhőből irányított, pilóta nélküli légi jármű-rendszer prototípusának kialakítása, funkcionális és biztonsági tesztek végrehajtása, illetve a munkálatok során szerzett tapasztalatok megosztása. Az alkalmazott technológiák között szerepel többek között az OpenStack felhő-architektúra, a MapBox térképmegjelenítő keretrendszer, a MAVLink kommunikációs protokoll, a MAV Downlink mobilalkalmazás és az APM robotpilóta. Jelen publikáció az eddig elért eredményekbe ad betekintést, a rendszer jelenlegi állapotában az első éles repülésre készen áll.*

**Kulcsszavak:** UAS<sup>2</sup>, drón, felhő, MAVLink, OpenStack

### Áttekintés

A kitűzött cél egy felhőalapú rendszerből irányított, pilóta nélküli légi jármű-rendszer megvalósítása, nyílt technológiák lehető legnagyobban történő felhasználásával.

Az elkészült prototípussal végrehajtható kísérletek eredményeként és a megvalósítás tapasztalatai alapján a későbbiekben ajánlásokat fogalmazhatunk meg a hasonló rendszerek megvalósítási, illetve tesztelési kérdéseiben, felhívva a figyelmet az esetleges biztonsági kockázatokra, illetve irányutatást adva azok mérséklésére.

Jelen esetben az autonóm működésű, kereskedelmi és védelmi célú UAS-ek reprezentálása a cél. Ennek oka, hogy a hobbi UAV-k „feladatköre” miatt az egyszerű rádiós összeköttetést nem életszerű felhőalapú vezérléssel kiváltani. A hobbi UAV-k repülési adatainak felhőbe integrálása kézzel, a repülés végrehajtását megelőzően történhet meg, ahogy azt a jogszabálymódosítási tervezet [1] is előírja. Az eseti légtérigénylés és -aktiválás megkönnyítésére a HungaroControl által kifejlesztett mobilalkalmazás, a MyDroneSpace a hírek szerint hamarosan elérhető lesz [2].

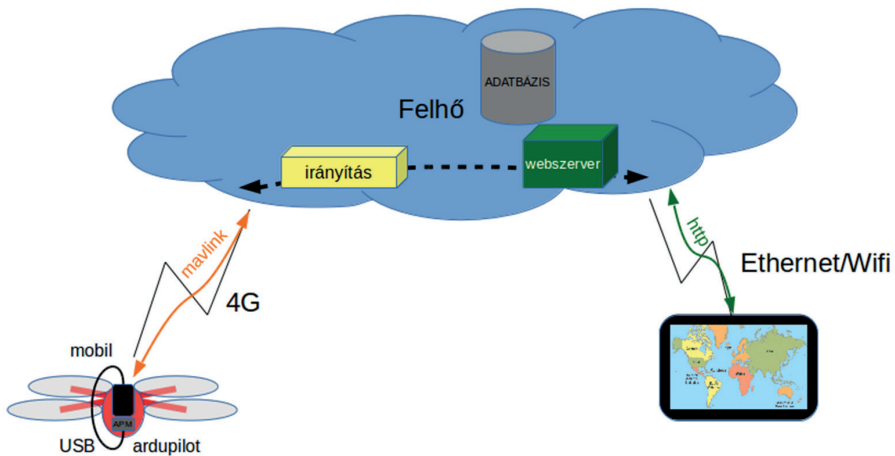
<sup>1</sup> UAV – Unmanned Aerial Vehicle.

<sup>2</sup> UAS – Unmanned Aircraft System.

Az első szerző korábbi, témához kapcsolódó diplomamunkájában [3] az UAV-ok számára felhőalapon küldetéstervezést és -végrehajtást kiszolgáló rendszereket – a felhő számítási rendszerek szolgáltatási szintjeinek nevezéktanához illeszkedve – *Mission as a Service*-nek, „szolgáltatásként nyújtott küldetésnek” nevezte, helyénvalóbb ismert gyűjtőfogalom híján.

A prototípus rendszermagját egy OpenStack alapú felhőrendszer adja. Az UAV-k irányába TCP-alapú MAVLink szerver szolgálja ki a kapcsolatot, illetve menti adatbázisba a kapott adatokat, miközben az UAV felé küldött parancsokat is továbbítja.

A felhasználói oldalon egy térképes felületet szolgál ki, a HungaroControl Légtér.hu weboldalához hasonlóan MapBox keretrendszerre alapozva. A tényleges megjelenítendő adatokat a korábban említett adatbázisból nyeri a honlap, illetve a felhasználónak lehetősége van az UAV-ok számára küldetések megtervezésére/törlésére, a repülőeszközök élesítésére/biztosítására, fel/leszállítására, illetve autonóm vagy kézi irányítású módba kapcsolására.



1. ábra

A korábban tervezett architektúra sematikus ábrája [4]

A levegő-föld adatátvitel digitális (csomagkapcsolt) kapcsolattal valósul meg, bár a repülőeszköz a hagyományos, 2,4 GHz frekvenciájú távirányító egységgel is fel van szerelve, amellyel vész helyzet esetén átvehető, felülírható az irányítás. A teszteszköz forgószárnyas, kvadrokopter felépítésű, bár elviekben a fedélzeti vezérlőre töltött firmware frissítésével merevszárnyas eszközzel is kompatibilissé tehető a rendszer.



2. ábra  
A prototípus UAV [a szerzők szerkesztése]

A repülőeszköz alapját egy DJI F450 „Flame Wheel” jellegű keret adja. A kiegészítő lábak lehetővé teszik különböző kiegészítő függesztmények (szenzorok, nyomkövető jeladók, kamera) felszerelését a keret alá. A keret belsejében kap helyet az Ardupilot APM 2.6 típusú robotpilótaegység és a 2,4 GHz másodlagos távirányító modul, illetve a nagy kapacitású lítiumakkumulátor. A keret tetején lett elhelyezve a GPS és külső iránytű modul, egy akkumulátorfeszültség-figyelő modul, illetve az elsődleges adatkapcsolatért felelős mobiltelefon. A mobiltelefon USB OTG-kábellel kapcsolódik az APM-hez, amelyen keresztül MAVLink protokoll segítségével tudja utasítani a robotpilótát, illetve adatfolyamokhoz fér hozzá a GPS, gyorsulásmérő, iránytű, giroszkóp és egyéb szenzorok irányából. A GPS-antenna, illetve külső iránytű modul egy döntő árbocon kap helyet az elektromágneses interferencia kiküszöbölése végett.

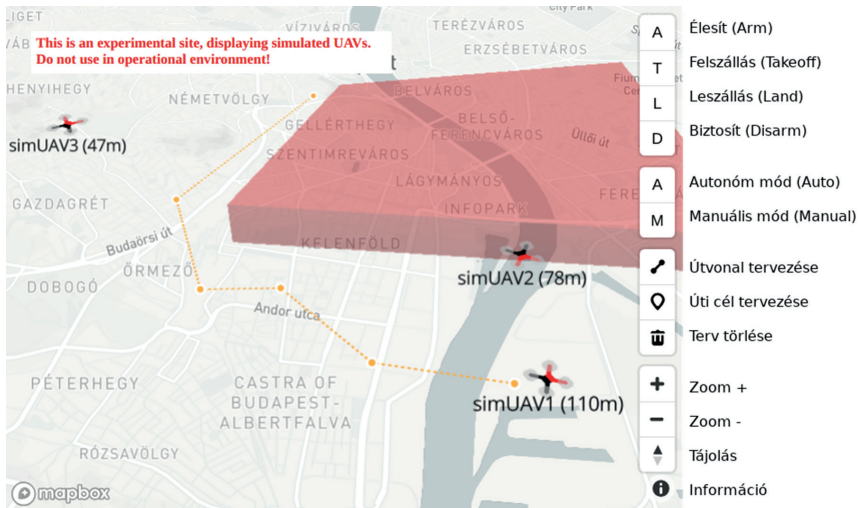
A teljes rendszer akkumulátorral és mobiltelefonnal együtt nagyjából másfél kilogramm, így kiegészítő függesztményeknek körülbelül fél kilogramm marad az UAV-ra kötött biztosításkonstrukció által maximált két kilogrammos felszállótömegből.

Első kérdésként felmerülhet a kézenfekvő kérdés, a mobilhálózat lefedettsége földfelszín felett. Egy, a 2019-es VFR Repülésbiztonsági Fórum rendezvényen elhangzott előadás [5] részben érinti a témát, az elhangzottak alapján sikeres méréseket végeztek 1000 lábíg egy hasonló, de mobilhálózat-alapú helymeghatározással kísérletező projekt keretein belül. Az előadó nem hivatalos álláspontjában kimondja, hogy korábbi tapasztalatai alapján 4500 láb magasságban is képes volt mobilnetkapcsolaton át kommunikálni. Emellett megemlíti későbbi lehetőségét, hogy egy telefonos operátorral együttműködve „kinyitnak” felfelé nagyjából egy tucat bázisállomást, ezzel az LTE-lefedettséget legalább FL660-ig kiterjesztik. Megjegyzi, hogy földközelségben sokkal nagyobb a mobilhálózaton a rádióhullámok szórása, hiszen jóval több a zavaró jelforrás és tereptárgy, mint magasabban a légtérben.

A felhasználói oldalon a térképes megjelenítést MapBox keretrendszerrel valósítottuk meg. A felületen egyedi vezérlőelemek is helyet kaptak, az egyes akciók (például fel- és leszállás)

végrehajtására. Lehetőség van útvonalak rajzolására vagy úti cél kijelölésére. A megjelenés alapesetben felülnézetes 2D, jobb egérgombbal 3 dimenzióban is forgatható.

A vörös színű test egy no-fly zónát hivatott reprezentálni, egyelőre gyakorlati funkciója nincs, csak a megjelenítést teszteltük. Nagyobb mértékű zoom esetén az épületek is kiemelkednek a felszínből, segítve a tereptárgyak, akadályok áttekintését.



3. ábra

*Képernyőkép a térképes felületről, egy tervezett útvonallal [a szerzők szerkesztése]*

## Földi alrendszer

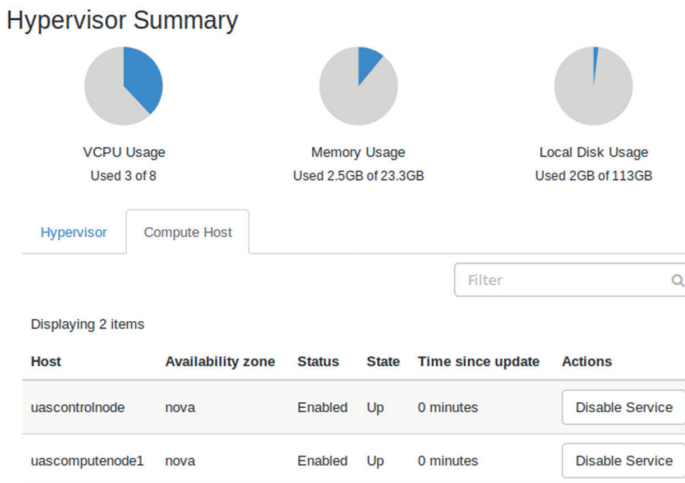
### Felhő infrastruktúra

#### Felhő

Röviden összefoglalva, felhőalapú rendszereken több fizikai számítógépre virtualizált számítási teljesítményt vagy szolgáltatást értünk. A legismertebb ilyen szolgáltatások internetes tárhelyet, közösségimédia-oldalakat, videómegosztó oldalakat, keresőoldalakat szolgálnak ki. A koncepció lényegét talán ott lehet megfogni, hogy ezen oldalak felhasználóinak nem érdeke tudni, hogy a szolgáltatás háttérében mekkora vagy mennyi szerverszámítógép van, a fontos csak az, hogy éjjel-nappal elérhető legyen a szolgáltatás, és folyamatos legyen a felhasználói élmény (például ne akadozzon a megtekintett videó).

Felhőarchitektúrát telepíthetünk akár otthon a számítógépünkre, számítógépeinkre is, hiszen a virtualizációs technológiának köszönhetően a hardverplatform maga kevésbé lényeges. Jelen megvalósításban két különböző típusú notebook számítógépre lett kiterjesztve a felhő.

Így összességében 8 virtuális processzorszál és 24 GB memória áll rendelkezésünkre. Igény szerint bármikor több további számítógép csatlakoztatható a hálózathoz, illetve a rendszerhez.



4. ábra

Több számítógép, egy irányító és egy tisztán számítási feladatú elem a rendszerben [képernyőkép az OpenStack Horizon erőforrás-menedzsment felületéről, a szerzők szerkesztése]

## Openstack

Az OpenStack az egyik legelterjedtebb nyílt forrású felhőmegoldás, amely különböző fantázianevekkel illetett „projektekből” épül fel [6]. Ezek közül a következőket alkalmaztuk a fejlesztés és telepítés során:

- Automatizáció („Heat”)
- Portál („Horizon”)
- Számítási erőforrások („Nova”)
- Blokkos tároló („Cinder”)
- Objektumorientált tároló („Swift”)
- Hálózat („Neutron”)
- Képfájlok („Glance”)
- Azonosítás („Keystone”)
- Monitorozás („Ceilometer”)
- Munkamenet („Mistral”)
- Metrika, statisztika („Gnocchi”)
- Riasztás („Aodh”)
- Terheléselosztás („Octavia”)
- Eseménysor („Zaqar”)

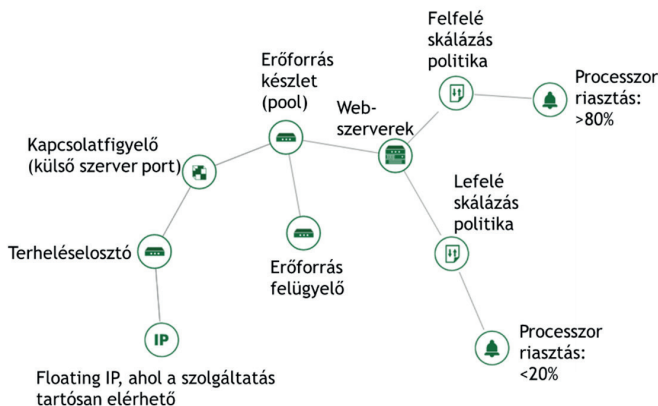
## HA és LB

A felhőrendszerek egyik legkívánatosabb tulajdonsága a magas fokú rendelkezésre állás, vagy HA<sup>3</sup>. Ehhez szorosan kapcsolódó fogalom az LB,<sup>4</sup> vagyis terheléelosztás. A szolgáltatás külső hozzáférési pontjait valamilyen HA-proxy megoldás mögé szokás rejteni, ami alapjaiban egy robusztus átjárót jelent a külvilág felé. A proxy mögött több párhuzamosan dolgozó folyamat között osztjuk el a számítási feladatokat, amelyek képesek hatékonyan osztozni a közösen használt erőforrásokon. Ez a felhőben futó szolgáltatások tervezésénél az egyik legfontosabb szempont. Ezzel a módszerrel a rendelkezésre állást olyan magas szinten garantálni lehet, hogy általában a felhőkiszolgálók „öttilences”, vagyis 99,999% rendelkezésre állást vállalnak a szerződésekben. Ez évente mindössze 5 perc megengedhető szolgáltatás-kiesést jelent.

Jelen rendszerünkben egyik oldalon a térképes felületet és a hozzá tartozó REST API-t szolgáljuk ki, a másik oldalon pedig egy pymavlink alapú (Python MAVLink) szervert.

## Önskálázás

A párhuzamos futásra optimalizált dolgozószálakat tetszés szerint indíthatjuk vagy leállíthatjuk a leterheltség függvényében. Ezt nevezzük horizontális skálázásnak. Jelen megvalósítást az OpenStack Heat orchesztrációs projektjét használva állítottuk össze. Egy előre elkészített sablonnal konfigurálhatjuk az erőforrásainkat. A térképes felület alatt futó, automatikusan skálázódó erőforrások logikai kapcsolata az 5. ábrán figyelhető meg.



5. ábra  
Önskálázó OpenStack konfiguráció [a szerzők szerkesztése]

<sup>3</sup> HA – High Availability.

<sup>4</sup> LB – Load Balancing.

Első komolyabb kihívásunkkal a processzormetrikák elérése során találkoztunk: a legfrissebb Ceilometer-verziókban már nem támogatott a `cpu_util` metrika (és egyéb aggregált metrikák sem), ami a processzorhasználatot adná vissza százalékos formában. Kizárólag a processzor-idő érhető el szigorúan monoton növekvő formában. Ezt a metrikát nem sikerült a Gnocchi-komponenssel reprodukálni, így egyelőre egy korábbi Ceilometer-verzióra álltunk vissza.

## Önjavítás

Hasonlóan kívánatos tulajdonság lehet a párhuzamosan dolgozó virtuális gépek önjavítása, vagyis hiba esetén érzékeljék az incidenst, és indítsák újra a szolgáltatásukat „tiszta lappal”. Erre is sikerült egy konfigurációt összeállítanunk. Viszont amikor ötvözni próbáltuk az önjavítást az önskálázással, versenyhelyzet alakult ki skálázás esetén: lefelé skálázáskor, amikor a fölöslegesen dolgozó virtuális gép törlődik, a törlés hatására a gép újraindítja magát, hiszen az önjavításnak ez lenne az egyik célja. Ennek következtében a skálázó újfent próbálkozik a virtuális gép felszabadításával, amire az újra megjavítja magát. A jelenlegi megvalósításban ezért egyszerű skálázást hagytunk meg, hiba esetén a többi gép terhelése megnő, és a következő kiértékelési időpontban (jelenleg 5 percenként) indul egy újabb példány. Sajnos a hibás virtuális gép a kézzel történő eltávolításig beragadt állapotban marad.

## DevStack

Az OpenStack-es infrastruktúra telepítéséhez DevStack-et alkalmaztunk. Ennek sajnos limitációja, hogy a fizikai gépek újraindítása esetén a Neutron hálózatkezelő szolgáltatás nem képes újra helyesen elindulni. A két notebookot energiagazdálkodási okokból nem tartjuk 24/7 bekapcsolva, így a tesztelési időszakokban mindig újratelepítjük az egész OpenStack-környezetet, ez nagyjából gépenként 20 percet vesz igénybe.

## További lehetőségek

Jelenleg az adatbázist MySQL szolgálja ki egy virtuális gépen. Ezt bevett gyakorlat szerint később érdemes lehet átmozgatni az OpenStack adatbázis szolgáltatásába („Trove”). Megfontolandó, hogy a későbbiekben SQL helyett a pozíció- és szenzoradatok naplózását noSQL-adatbázisba mozgassuk, idősoros adatok tárolására ugyanis ezek sok esetben jobb megoldást adnak az SQL-alapú adatbázisoknál.

Később dinamikus (járművek körüli vagy időjárásfüggő) és statikus no-fly<sup>5</sup> zónák (NFZ) kiszámítására is alkalmas lehet a rendszer, hiszen a bejelentkezett járművek adatai szinte valós időben jelen vannak a rendszerben, emellett a felhőben elméletileg végtelen számítási kapacitás<sup>6</sup> áll rendelkezésre. Ütközésveszélyes helyzet észlelése esetén a felhő automatikusan be is avatkozhat a küldetésbe, hiszen a bejelentkezett légi jármű közvetlenül fogad parancsokat

<sup>5</sup> Repülés elől elzárt.

<sup>6</sup> Hiszen bármennyi fizikai számítógép lehet a háttérben, mindig amennyi szükséges – elvileg.



fordított a sorrend. Ezek felcserélése esetén az UAV úti célja Magyarország helyett leginkább Szaúd-Arábiába fog esni.

Az UAV-k utolsó ismert pozíciójának térképes megjelenítése segít az eltűnt vagy lezuhant eszközök felkutatásában is.

### További lehetőségek

A MapBox támogatást nyújt különböző AR<sup>7</sup>- és VR<sup>8</sup>-megoldások integrálására, akár amolyan virtuális terepsztal megvalósítására is (7. ábra).



7. ábra

*Képernyőkép egy MapBox Unity alapú kiterjesztettség-alkalmazásból [8]*

A térképen tetszőleges számú réteg megjeleníthető, így akár ultrarövidtávú meteorológiai előrejelzésekkel is segíthetjük a küldetések tervezését ugyanazon a felületen.

<sup>7</sup> AR – Augmented Reality, kiterjesztett valóság.

<sup>8</sup> VR – Virtual Reality, virtuális valóság.

## Légi alrendszer

### A MAVLink-protokoll

A MAVLink bináris protokoll eredetileg kisméretű légi járművek rádiós kapcsolaton történő irányítására lett optimalizálva. Napjainkra kiegészítették szárazföldi és víz alatti járművek irányítására szolgáló funkciókkal is.

### MAVLink 1.0

1. táblázat  
A MAVLink 1.0 csomagszerkezete (a szerzők fordítása [9] alapján)

Bájtindex	Tartalom	Érték	Leírás
0	Csomag kezdete jelzés	0xFE	Protokollspecifikus jelzés. MAVLink rendszerek, amelyek nem ismerik ezt a verziót, eldobják a csomagot.
1	Hordozott adat hossza	0–255	A hordozott adat hosszát (n) jelöli.
2	Csomag sorszáma	0–255	Az elveszett csomagok detektálását segíti.
3	Rendszerazonosító	1–255	A küldő rendszerazonosítója a csatornán. A csatornán kommunikáló egyedi rendszerek megkülönböztetésére szolgál.
4	Komponensazonosító	0–255	A küldő komponensazonosítója a rendszeren. A rendszeren belüli komponensek megkülönböztetésére szolgál (például robotpilóta, kamera).
5	Üzenettípus	0–255	Az üzenettípus azonosítója. A hordozott adatstruktúra deserializálását segíti.
6-tól (n+6)-ig	Hordozott adat		Az üzenettípus által meghatározott adatstruktúra.
(n+7)-től (n+8)-ig	Ellenőrző összeg		Az üzenetre vonatkozó X.25 CRC <sup>9</sup> (a csomag kezdete jelzést kivéve). CRC extra bájtot tartalmaz.

A rendszerazonosító (sysid) tartománya láthatóan elég szűkös, a kitüntetett nullás azonosító szórt üzeneteknek van fenntartva, a tartomány vége pedig általában a földi állomások azonosítására szolgál. Így egy kapcsolaton maximum 254 légi járművel tartható fenn kommunikáció, ez elég erős limitáció a regisztrált, pilóta nélküli járművek számára vonatkozóan. A komponensazonosító (compid) az egy UAV-n helyet kapó alrendszerek, például MAVLink-képes robotpilóta, kamera, gímbal vagy GPS azonosítására szolgál.

Az Amerikai Légierő berkein belül született egy dolgozat, ami a MAVLink 1.0 biztonsági hiányosságaira alapozva mutat be támadási módszereket [10].

A szerző a helyi és távoli hozzáférésre, közbeékelődéses támadásokra (lehallgatás, eltérítés) fókuszál, illetve szolgáltatásmegtagadás jellegű támadások lehetőségeire.

Egy másik, belga kutatócsapat fuzzing technikával keresett és talált hibákat a protokoll megvalósításában [11]. A cikk kiadásáig nem végeztek mélyebb behatolástesztelést a talált hibák mentén.

<sup>9</sup> CRC – Ciklikusredundancia-vizsgálat (Cyclic Redundancy Check).

## MAVLink 2.0

2. táblázat  
A MAVLink 2.0 csomagszerkezete (a szerzők fordítása [9] alapján)

Bájt index	Tartalom	Érték	Leírás
0	Csomag kezdete jelzés	0xFD	Protokollspecifikus jelzés. MAVLink rendszerek, amelyek nem ismerik ezt a verziót, eldobják a csomagot.
1	Hordozott adat hossza	0–255	A hordozott adat hosszát (n) jelöli.
2	Inkompatibilitásjelzők		Funkcionalitásjelzők, amelyeket a fogadó komponensnek kötelezően képesnek kell lennie értelmezni. A csomagot eldobja, ha a rendszer nem felel meg a feltételeknek.
3	Kompatibilitásjelzők		Funkcionalitásjelzők, amelyeket a fogadó komponens opcionálisan képes lehet értelmezni. A csomagot feldolgozhatja akkor is, ha a rendszer nem képes teljes mértékben értelmezni.
4	Csomag sorszáma	0–255	Az elveszett csomagok detektálását segíti.
5	Rendszerazonosító	1–255	A küldő rendszerazonosítója a csatornán. A csatornán kommunikáló egyedi rendszerek megkülönböztetésére szolgál.
6	Komponensazonosító	0–255	A küldő komponensazonosítója a rendszeren. A rendszeren belüli komponensek megkülönböztetésére szolgál (például robotpilóta, kamera).
7 to 9	Üzenettípus-azonosító	0–16777215	Az üzenettípus azonosítója. A hordozott adatstruktúra deserializálását segíti.
10-től (n + 10)-ig	Hordozott adat		Az üzenettípus által meghatározott adatstruktúra.
(n + 11)-től (n + 12)-ig	Ellenőrző összeg		Az üzenetre vonatkozó X.25 CRC (a csomag kezdete jelzést kivéve). CRC extra bájtot tartalmaz.
(n + 12)-től (n + 26)-ig	Aláírás		(Opcionális) A csomagátvitel közbeni módosításának megelőzésére szolgál.

Kutatásunk szempontjából talán a legfontosabb különbség az új (opcionális) aláírásmező az üzenet végén.

3. táblázat  
A MAVLink 2.0 csomagok aláírásának felépítése (a szerzők fordítása [9] alapján)

Mező	Leírás
Kapcsolatazonosító (8 bit)	A kapcsolat azonosítója, amelyen a csomag közlekedik.
Időbélyeg (48 bit)	Időbélyeg 10 mikroszekundum osztással 2015. január 1-je óta. Szigorúan monoton növekvő üzenetenként egy kapcsolatra értelmezve. Ennek következménye, hogy az időbélyeg minimum 100 000 csomag/másodperc csomagküldési intenzitás esetén a valós idő elé (a jövőbe) torlódik. (A gyakorlatban általában jóval alacsonyabb az intenzitás.)
Aláírás (48 bit)	48 bitnyi SHA256 aláírás, a teljes csomagra, az időbélyegre és egy titkos kulcsra számítva.

Az aláírás tartalmaz egy szimmetrikus titkos kulcsot, amelynek a kulcscseréje titkosítatlanul történik. Ennek megfelelően a kulcscserét mindenképp megbízható kapcsolaton át kell végrehajtani a földi alrendszer és a robotpilóta-egység között. Ezt a hivatalos ajánlás szerint USB-kapcsolaton a legegyszerűbb kivitelezni [12].

Az aláírásmező bevezetésével a J. Marty által leírt támadások egy része kivédhető lett. Az irányítás eltérítése például a szekvenciaszám, időbélyeg és titkos kulcs megfelelő fabrikálása nélkül nem kivitelezhető.

Egy másik, amerikai kutatókból álló csapat ugyancsak vizsgálta a MAVLink 1.0 és 2.0 sebezhetőségeit [13]. A 2.0 verzió esetén a biztonságosabb kulcscsere, illetve az újrát-szások elleni védelmet emeli ki mint fejlesztendő pontot, illetve egy titkosított kapcsolatot kialakítását.

## A MAVLink-könyvtár

A protokoll használatát segítő, C/C++ és Python programnyelven is elérhető nyílt forrású könyvtár a githubon.

A pymavlink Python könyvtár esetén limitáció, hogy csak egy szerver és kliens képes egy kapcsolaton kommunikálni, egyidőben (a két végpont a földi állomás és a légi jármű). A pymavlink forráskódjából kiindulva sikeresen újraírtuk a hálózati socket kezelés kódrészletet, hiszen jelenlegi formájában nem „felhőbarát” a működése. Létfontosságú, hogy egy hálózati porton több légi jármű is tudjon kommunikálni.

A 254 rendszerazonosító limitációja azonban még mindig fennáll. Ez részben mérsékelhető lenne azzal, ha az első bejelentkezéskor egy szabad rendszerazonosítót választanánk az UAV-nak, vagyis a jelenlegi statikus kiosztás helyett mindig újat kaphatna a légi jármű, amikor bejelentkezik, így párhuzamosan 254 légi jármű lehetne bejelentkezve.

## MAV Downlink

A MAV Downlink egy Android okoseszköz-alkalmazás. Egy TCP-kapcsolat és az okostelefon USB soros kapcsolata között működik átjátszó szerepben. Az alkalmazás nyílt forrású, így szabadon továbbfejleszhető.

Az alkalmazás a TCP-kapcsolat megszakadása esetén automatikusan újracsatlakozik. Az alkalmazás megfelelően működik Ardupilot APM 2.6-tal, viszont Pixhawk PX4-el történő teszt során az alkalmazás nem ismerte fel a robotpilótát klienseszközként. Egy másik nyílt forrású alkalmazás, a QGroundControl viszont sikeresen felismerte a PX4-et, így valószínűleg elég a MAV Downlink kódjában frissíteni az USB soros kapcsolatért felelős könyvtárat.

## APM 2.6

Az ArduPilot Mega 2.6 robotpilóta egy korábbi, mára már kifutott eszköz. Jelen UAS fejlesztésének kezdete 2015 környékére tehető, így történelmi okokból maradt meg a prototípus rendszerben. A 2.5-ös verzióval szemben ez a modul nem rendelkezik beépített iránytűvel, így külső iránytűmodul csatlakoztatása szükséges. Az élesítés előtti ellenőrzések kikapcsolásával lehetséges azonban iránytű nélkül is repülni, bár az inerciális tájékozódás sokkal pontatlanabb – az indításkor előre mutató irányt tekint az északra a rendszer. Természetesen

távirányítóval történő, legfeljebb magasságtartást segítő repülési módokban nincs szükség az iránytűre.

Mivel az APM 2.6-os verzió már elavult, csak MAVLink 1.0 verziót támogat. A MAVLink 2.0-át 2017 körül vezették be. Emiatt csak a régebbi ArduCopter firmware-ekkel kompatibilis.

Mivel a MAVLink protokoll nyílt forrású, van lehetőség akár meteorológiai adatfolyamok natív leküldésére egy újabb verzióban, ehhez azonban a későbbiekben természetesen firmware-támogatást is meg kell valósítani a robotpilóta-eszközökben.

## Összegzés

A cikkben bemutatott felhőalapú, pilóta nélküli légi jármű-rendszer prototípusát. A központi felhő-infrastruktúrából és a térképes megjelenítésből álló földi alrendszer, illetve a légi járműből, robotpilótából és okostelefon-alkalmazásból álló légi alrendszer. Részleteztük az egyes elemeket, amelyek az ehhez hasonló rendszerek különlegességeit adják: többek között az önskálázást, a valós idejű, akár 3 dimenziós térképes megjelenítést és küldetéstervezést, illetve -végrehajtást. Áttekintettük a MAVLink-protokoll fejlődését, korlátait és lehetőségeit. Mindeközben megemlítettünk néhány, a jelen rendszer fejlesztése során gyűjtött tapasztalatot.

A rendszer jelen állapotában készen áll az első repülési tesztek végrehajtására, a kezdeti, felszállás nélküli próbák (pozícióadatok elérése, motorok élesítése, majd biztosítása) biztató eredményeket hoztak.

## Hivatkozások

- [1] Magyarország Kormánya: A Kormány .../2016. (... ...) Korm. Rendelete az egyes légi közlekedéssel összefüggő kormányrendeletek módosításáról, Tervezet, 2016. [Online]. Elérhető: [www.kormany.hu/download/8/db/e0000/RPAS\\_\\_honlapra.pdf](http://www.kormany.hu/download/8/db/e0000/RPAS__honlapra.pdf) (Letöltve: 2019. 03. 31.)
- [2] HungaroControl Netbriefing, „MyDroneSpace,” *HungaroControl Netbriefing*, [Online]. Elérhető: [www.netbriefing.hu/HU/mydronespace.html](http://www.netbriefing.hu/HU/mydronespace.html) (Letöltve: 2019. 03. 31.)
- [3] D. F. Vránics, „A felhő alapú rendszerekből vezérelt pilóta nélküli repülőgépek biztonsági kockázatai,” Diplomamunka, Nemzeti Közszerológiai Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Üzemeltető Intézet, 2015.
- [4] D. F. Vránics, „Egy felhőalapú, pilóta nélküli légi jármű-tesztrendszer bemutatása,” *Bolyai Szemle*, 26. évf. 2. sz. pp. 37–44.
- [5] Gy. Blazsovsky, „NetBriefing és MyDroneSpace,” VFR Repülésbiztonsági Fórum, 2019, [Online]. Elérhető: [www.youtube.com/watch?v=RD0gq0Ahngc](https://www.youtube.com/watch?v=RD0gq0Ahngc) (Letöltve: 2019. 03. 31.)
- [6] G. Szabó, „Hálózati szolgáltatások OpenStack környezetben,” Networkshop XXIII, 2014. április 23–25. [Online]. Elérhető: <https://docplayer.hu/1587381-Halozati-szolgaltatasok-openstack-kornyezetben.html> (Letöltve: 2019. 03. 31.)
- [7] HungaroControl, „Légtér.hu,” HungaroControl, [Online]. Elérhető: <https://terkep.legter.hu> (Letöltve: 2019. 03. 31.)

- [8] Á. Debreczeni, „My bike ride in AR, (Unity + ARKit + Mapbox + Strava),” Twitter bejegyzés (@heyadam), 2017. június 7, 4:27 [Online]. Elérhető: <https://twitter.com/heyadam/status/872278723700994048> (Letöltve: 2019. 03. 31.)
- [9] MAVLink, „Serialization – MAVLink Developer Guide,” *MAVlink*, [Online]. Elérhető: <https://MAVLink.io/en/guide/serialization.html> (Letöltve: 2019. 03. 31.)
- [10] J. A. Marty, Vulnerability analysis of the MAVLINK protocol for command and control of unmanned aircraft, Diplomamunka, Wright-Patterson Air Force Base, Department of the Air Force Air University, Ohio, 2014. [Online]. Elérhető: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a598977.pdf> (Letöltve: 2019. 03. 31.)
- [11] K. Domin, E. Marin and I. Symeonidis, *Security Analysis of the Drone Communication Protocol: Fuzzing the MAVLink protocol. ESAT-COSIC and iMinds*. KU Leuven, Leuven-Heverlee, Belgium, 2016. [Online]. Elérhető: [www.esat.kuleuven.be/cosic/publications/article-2667.pdf](http://www.esat.kuleuven.be/cosic/publications/article-2667.pdf) (Letöltve: 2019. 03. 31.)
- [12] MAVLink, „Message Signing – MAVLink Developer Guide,” [Online]. Elérhető: [https://MAVLink.io/en/guide/message\\_signing.html](https://MAVLink.io/en/guide/message_signing.html) (Letöltve: 2019. 03. 31.)
- [13] N. Butcher, A. Stewart and S. Biaz, „Securing the MAVLink Communication Protocol for Unmanned Aircraft Systems,” Technical Report #CSSE14-02, [Online]. Elérhető: <https://pdfs.semanticscholar.org/4ce0/68b40089549f3d445d30e45fe8b53a141c88.pdf> (Letöltve: 2019. 03. 31.)

## MISSION AS A SERVICE – IMPLEMENTATION OF A CLOUD-BASED UAS

*In our days, unmanned aerial vehicles – drones – and cloud computing systems are widely known branches of technology. The Mission as a Service is not just an utopian vision, the current technology enables us to control swarms of UAVs through the internet. Our research contains the development of a cloud-controlled prototype unmanned aircraft system, together with the necessary functional and security testing, and the publication of the observed results. Applied technologies include amongst others: OpenStack cloud architecture, MapBox map display framework, MAVLink communication protocol, MAV Downlink mobile app and the APM autopilot. The present publication describes the results achieved so far, the system in its current form is ready for the initial flight tests.*

**Keywords:** UAS, drone, cloud, MAVLink, OpenStack

---

*Vránics Dávid Ferenc MSc*  
*Doktoranduszhallgató*  
*Nemzeti Közszolgálati Egyetem*  
*Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar*  
*Katonai Műszaki Doktori Iskola*  
[vranicsd@gmail.com](mailto:vranicsd@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-0637-476X>

*Dávid Ferenc Vránics MSc*  
*Doctoral Student*  
*National University of Public Service*  
*Faculty of Military Science and Officer Training*  
*Doctoral School of Military Engineering*  
[vranicsd@gmail.com](mailto:vranicsd@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-0637-476X>

---

*Palik Mátyás PhD*  
*Intézetigazgató, egyetemi docens*  
*Nemzeti Közszolgálati Egyetem*  
*Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar*  
*Katonai Repülő Intézet*  
[palik.matyas@uni-nke.hu](mailto:palik.matyas@uni-nke.hu)  
<https://orcid.org/0000-0002-2304-372X>

*Mátyás Palik PhD*  
*Director of Institute, Associate Professor*  
*National University of Public Service*  
*Faculty of Military Science and Officer Training*  
*Institute of Military Aviation*  
[palik.matyas@uni-nke.hu](mailto:palik.matyas@uni-nke.hu)  
<https://orcid.org/0000-0002-2304-372X>

---



VÁKÁT OLDAL

Csengeri János

## A drónforgalom és a drónfenyegetések rendszerszintű kezelésének lehetőségei

*A publikáció célja, hogy a drónforgalom és drónfenyegetés kezelésére alkalmas megoldásokat ne csupán elemenként mutassa be, hanem alternatívát adjon azok rendszerbe foglalására, rendszerként való működésére. Az írásban a drón kifejezés alatt a kereskedelmi forgalomban kapható magán-, hobbi-, illetve ipari, üzleti, közszolgálati felhasználású távirányított repülőrendszerek értendők. Az első fejezet igazolja a drónok jelentősen növekvő számát, ami alapja a téma aktualitásának. A második fejezet a drónok hasznosságát és az általuk megvalósított kockázatokat, fenyegetéseket tárgyalja. A harmadik fejezet az adminisztratív drónkezelési megoldásokat, a negyedik pedig a fenyegetésekkel szemben alkalmazható aktív ellentevékenységi elemeket részletezi. Az ötödik egység javaslatokat fogalmaz meg arra, hogy milyen rendszer lehet minta a drónfenyegetések és a drónforgalom kezelésére, végül az összegzésben ültetjük át előbbi a drónokkal összefüggésben.*

**Kulcsszavak:** drón, drónforgalom, drónfenyegetés, rendszer, forgalomkezelés, ellentevékenység

### Bevezetés

A témaválasztás indoka a távirányított és a pilóta nélküli (autonóm) repülőrendszerek növekvő száma, mennyisége, amivel együtt ezen eszközök által jelentett kockázat is folyamatosan emelkedik. Napjainkban a kiskereskedelemben értékesített drónok száma folyamatosan növekszik, a piaci előrejelzések pedig egyre gyorsuló tendenciát mutatnak. A drónokat nemcsak katonai vagy hobbicélokra alkalmazzák, üzleti célú felhasználásuk is állandó bővülést mutat, e jelenségek együtt jelentősen növelik a jelenlétüket a légterekben.

Ebben a megváltozott környezetben az állami objektumoknak, ipartelepeknek, repülőtereknek, erőműveknek és egyéb (kritikus) infrastrukturális elemeknek szükségük lesz valamilyen védelmi mechanizmusra és megoldásokra annak érdekében, hogy a rendeltetésüket ne veszélyeztessék ezek az eszközök, ne érkezzon a közelükbe drón agresszív szándékkal vagy csupán figyelmetlenségből, esetleg meghibásodásból adódóan.

A drónok elleni védekezés nemcsak ellentevékenységből áll, illetve az ellentevékenység vagy objektumvédelem nem szükségszerűen a légi eszköz megsemmisítésében merül ki. Hasonló eljárást szükséges megvalósítani a légtérsértő drónok esetében is, mint a hagyományos légi közlekedés szereplőivel szemben. Tehát az ellentevékenység részfeladatai: érzékelés, célkövetés, azonosítás, kommunikáció (felszólítás a jogellenes cselekmény beszüntetésére),

szükség esetén ellentevékenységi (és a rendelkezésre álló lehetőségek közül az optimális kiválasztása), az üzemeltető beazonosítása, hatósági eljárás lefolytatása az üzemeltetővel szemben. Az ellentevékenységi pedig a kinetikus behatás mellett (amely például városi környezetben általában nem kívánatos, fokozottan balesetveszélyes) egyéb, kevésbé végzetes megoldások (irányítás átvétele, földre kényszerítés, bénítás, szoftveres „korlát” – geo-fencing stb.) alkalmazása szükséges.

A fenti gondolatok alapján a kiinduló probléma, hogy a drónok száma és ezzel együtt a légtérben való jelenlétük növekszik, a felhasználók akaratukon kívül vagy akarattal veszélyeztethetik objektumok, infrastrukturális elemek biztonságát. Mindezek mellett a szabályozás, korlátozás és az ellentevékenységek kezdetlegesek, e megoldások között nehéz az eligazodás, szinergikus alkalmazásuk nincs megoldva. Jelen kutatás főként a kereskedelmi forgalomban kapható magán, avagy hobbi, illetve ipari, üzleti felhasználású drónok elhárítására koncentrálnak.

A tanulmány célja, hogy a drónok számának növekedésével kapcsolatos trendek bemutatása után a védelmi megoldásokat összegezze, majd azok egymást erősítő, együttes alkalmazási lehetőségeit megfogalmazza, azaz a szabályozási, ellentevékenységi megoldások rendszerszinten történő alkalmazását kutassa. A szerző úgy gondolja, hogy a már létező légi-erőalkalmazási alapelvek, ezen belül is a légtérfelügyelet és légtérbiztosítás meglévő alkalmazási elvei, módszerei e témakörben is megállják a helyüket, így a kapcsolódási pontokat, alkalmazási lehetőségeket fontosnak tartja bemutatni.

E repülőeszközök megnevezéseire, csoportosítására, kategorizálására, felépítésükre stb. jelen tanulmány nem tér ki, erről hosszabb [1] és rövidebb [2] tanulmányok bő számmal találhatóak, továbbá a szerző más publikációjában [3] már foglalkozott e résszel.

A tanulmányban felhasznált adatok és információk a témában folyt konferenciákról, drónok elleni védekező megoldást kínáló gyártóktól, az eddig megjelent szakirodalom elemzéséből, valamint az interneten fellelhető hitelesnek tartott forrásokból (például: FAA<sup>1</sup> [4], Eurocontrol<sup>2</sup> [5], statisztikai portálok stb.) származik, esetleg megtörtént esetek, incidensek leírásához egyéb internetes oldalak (Hungarocontrol<sup>3</sup> honlapja [6], hírportálok) szolgálnak.

## A drónok növekvő száma

Ahhoz, hogy a következőkben ismertetendő drónok számának jelenlegi helyzetét, valamint a prognózisokban jelzett mértékét viszonyíthassa az olvasó, először a hagyományos módon, a fedélzeten pilótával ellátott repülőgépek számáról szükséges képet kapnia. Természetesen a pontos számot szinte lehetetlen lenne meghatározni, de a nagyságrend bemutatásához is számos forrást szükséges felhasználni. A GAMA<sup>4</sup> [7] amerikai egyesült államokbeli székhellyel rendelkező civil szervezet, amely az általános célú repülést csupán a magáncélú repülésekkel azonosítja, tehát a légi járatok repülőgépeit nem foglalja e körbe, azonban számontartják a kétüléses kiképző repülőgépeket a többcélú helikoptereken keresztül, egészen az interkontinentális repüléseket végző business sugárhajtású repülőgépekig. Jelenleg elérhető legfrissebb, 2017-es éves jelentésük szerint világszerte 446 ezer előző kategóriába tartozó légi

<sup>1</sup> Federal Aviation Administration – Szövetségi Repülési Hivatal (Amerikai Egyesült Államok).

<sup>2</sup> Európai Szervezet a Légiközlekedés Biztonságáért.

<sup>3</sup> A magyar állam tulajdonában lévő, légi navigációs szolgáltatásokat biztosító vállalat.

<sup>4</sup> General Aviation Manufacturers Association – Általános Célú Repülőgép Gyártók Szövetsége.

járművet üzemeltetnek, amelyből 211 ezret az Amerikai Egyesült Államokban, 136 ezret pedig Európában lajstromoztak [8].

Az előző számok mellett tehát még számításba kell venni a polgári járatok és a fegyveres erők légi járműveit is. Az előző kontingens esetében, míg egyes források a 2018. évben 5260 darabra tették az európai polgári légi járatok gépállományát [9], az EBAA<sup>5</sup> [10] adatai kisebb számot mutatnak. A belgiumi székhelyű szervezet kiadványa szerint 2018 év végén 3665 légi járművet üzemeltettek európai székhelyű légitársaságok [11]. Az IATA<sup>6</sup>-tól [12] származó hasonló kimutatást jelen kutatás során nem találtam, adataik legfőképpen pénzügyi jellegűek.

A katonai légi járművek európai összesítését a Global Firepower weboldaláról [13] gyűjtöttem össze, amely szerint Európában (e régió vonatkozásában Kelet-Európa, NATO- vagy Európai Unió-tagországok csoportosításban is lekérhető az adatok) 10 762 a légi közlekedésben potenciálisan részt vevő repülőgépet és helikoptert tartanak számon.

Összegezve, a hagyományos módon vezetett légi járművek száma Európában nagyságrendileg 150 ezer darabra tehető. Az arány meglepő lehet, azonban a fenti adatok légi járművekre vonatkoznak, nem pedig a légi közlekedésben naponta részt vevők hovatartozásának arányára. A számok azt fejezik ki, hogy mekkora az a hagyományos módon vezetett légijármű-kontingens, amely részt vehet az európai légi forgalomban, továbbá ehhez a mennyiséghez lehet hasonlítani a következőkben a drónok számát.

A fegyveres erők drónjai Európa államaiban összesen kevesebb, mint 1000 darabot tesznek ki, tehát számuk alacsonyabb, mint 10% az összes katonai légijármű-kontingensen belül. Ezen belül is a közepes, valamint nagy magasságon repülni képes drónok száma elenyésző, mindössze 40 darabra tehető. A drónok alkalmazása vagy alkalmazásuk tervei, koncepciói a katonai mellett egyre elterjedtebb egyéb hivatásrendekben, közszolgálati ágazatokban is, egyelőre azonban erre vonatkozó összefoglaló adat nem áll rendelkezésre.

Azonban, ha a drónok polgári alkalmazását tekintjük, jóval nagyobb számokat kapunk. A hobbicélra vásárolt drónok száma 1-1,5 millió darabra tehető, az utóbbi években számuk évente megduplázódott, mire a jelenlegi szintre emelkedett. Az előző szám mellett ugyan eltörpül, azonban nem elhanyagolható az üzleti felhasználású drónok száma sem, amit 10 ezer darabra tesznek [14: 17].

Magyarországon is rohamosan terjed a kiskereskedelemről beszerzett drónok száma. Míg 2018 év elején 35 ezer értékesített darabszámot említettek [15: 359.], addig ugyanazon év végén a Magyar Nemzeti Drón Szövetség és a Drónpilóták Országos Egyesületének vezetői már 100 ezerre tették ugyanezt a számot [16], [17].

## A drónok hasznosítási területei és az általuk jelentett kockázatok, veszélyek

Mielőtt a drónok által jelentett kockázatokat és veszélyeket tekintem át, fontosnak tartom a pozitív, hasznos oldaluk bemutatását is, elkerülve azt, hogy túlságosan sötét kép alakuljon ki róluk. A hobbicélú felhasználás során pozitív tulajdonságnak tekinthető a kikapcsolódásból

<sup>5</sup> European Business Aviation Association – Európai Kereskedelmi Repülések Szövetsége.

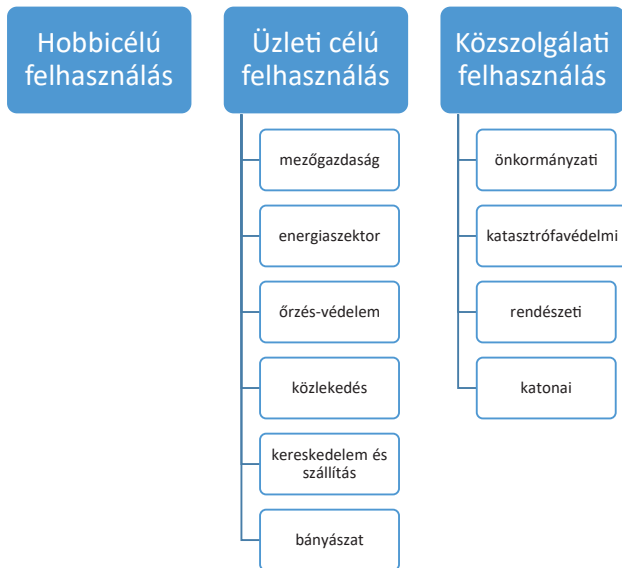
<sup>6</sup> International Air Transport Association – Nemzetközi Légi Szállítók Szövetsége.

származó lélektani haszon, amely az egyén szintjén valósul meg, azaz hogy a szabadidejét egy újfajta, izgalmas, érdekes cselekvéssel töltheti. Ez lehet baráti körben vagy szülő és gyermek által eltöltött közös vagy egyéni idő drónreptetéssel, légi felvételek készítésével, esetleg akadályok közötti versenyzés stb.

A kereskedelmi, üzleti felhasználásuk is egyre inkább terjedőben van, a legtipikusabb területek a mezőgazdaság, az energiaszektor, az őrzés-védelem, a közlekedés, a kereskedelem és szállítás, a bányászat, a filmkészítés és média, valamint az építőipar [14: 23–28.]. Mindezek közül a mezőgazdaság az az üzleti terület, ahol elsőként és legszéleskörűbben alkalmazták a drónokat [18]. A drónok segítségével készült térképen szoftverek segítségével pontos mérések végezhetők. Mérhető távolság, terület, néhány megoldás pedig a legfejlettebb drónok magasságérzékelőjét is ki tudja használni, így akár pontos domborzati térkép is készíthető, sőt térfogat is kiszámolható. Kárfelmérésben is használható, olyan analízis készíthető, amely meg tudja állapítani a növények állapotát. A jövőben a nehezen megközelíthető helyeken természetett növények permetezését, vagy ami még futurisztikusabb, de megvalósíthatónak tűnik, a virágok beporzását is tervezik drónokkal elvégezni, elősegíteni [19], [20]. A logisztika területén a kisebb csomagok, küldemények szállítása vagy a szállítások legvégső fázisába történő bekapcsolódásuk (az úgynevezett utolsó mérföld) szintén hasznosnak, hatékonynak bizonyul [21]. A korábban felsorolt egyéb területek kifejtésétől a téma és a terjedelem figyelembevételével jelen publikációban eltekintek.

Szintén főcsoportnak tekinthető, viszont véleményem szerint idehaza még kevés figyelmet kap a drónok közszolgálatban és közszolgáltatások támogatásában történő alkalmazása. Ezekről a katonai alkalmazást különválasztom, ugyanis az egy sajátos, nagyméretű és sok esetben erőszakos terület. A tárgynál maradván idesorolható a rendőrség, a katasztrófavédelem vagy a mentőszolgálat, amely hivatásrendek mindegyike számos területen hasznosíthatja a drónokat, de a villamosvezetékek, földgáz- és üzemanyagszállító csővezetékek, erőművek épületei, ezek környezete is megfigyelhető drónokkal. A rendészeti feladatok közé sorolható rendezvények, sportesemények közönségének, területek, bűnelkövetők stb. megfigyelése, nyomon követése [22]. A katasztrófavédelem ugyancsak számos területen tudja alkalmazni a drónokat: az iparbiztonság területén, azon belül veszélyes áru szállításakor, szennyezőanyagok két- és háromdimenziós kimutatásában [23]; folyóvízi partpusztulás és árvíz kár felmérésében [24]; de veszélyes anyagokkal kapcsolatos balesetek felszámolásának elősegítésében is [25] stb. Az előző hivatkozások alapján látható, hogy a fellelhető releváns források a területtel részenként is foglalkoznak, de találhatunk olyat, amelyik átfogóbb feldolgozása a témának, és az előzőkön túl az önkormányzatoknál történő hasznosítás egyes területeire is rávilágít [26].

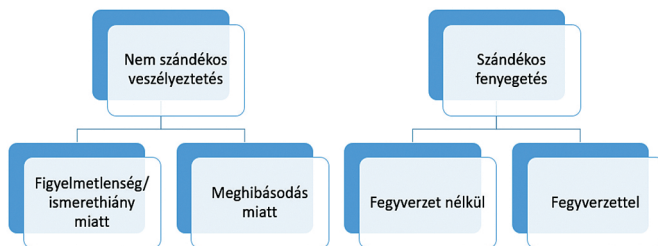
A katonai alkalmazás véleményem szerint a legismertebb [27], egyben (főként morális okok miatt) legmegosztóbb terület. Itt már méretben, súlyban és képességekben általában sokkal fejlettebb repülőeszközökről van szó, mint a korábbiakban. Nagyon leegyszerűsítve az is mondható, hogy ahol az előző területek drónjainak technológiai, technikai fejlettsége végződik, ott kezdődik a katonai felhasználású, pilóta nélküli vagy távirányított repülőrendszerek színvonala. A légerő öt alapfunkciójából [28: 61.] háromban legalább használható: a levegő-felszín támadásokban, információgyűjtésben, illetve személyek kimentésében [3: 90.], de akár a légtérért folytatott küzdelemben is részt vehet (a szembenálló légerő földi elemeinek pusztításával, információk biztosításával, közvetítésével stb.) [29: 4–2.].



1. ábra

A drónok felhasználásának területei és egyes ágazatai [a szerző szerkesztése]

A fentiekből látható, hogy a teljesség legkisebb igénye nélkül is nagyszámú pozitív felhasználási terület különböztethető meg már napjainkban is, holott a tömeges elterjedéstől és a mindennapi használatról egyelőre nem beszélhetünk. A fenti, pozitív felhasználási területeket és ágazatokat az 1. ábrán foglaltam össze. Ami viszont az egyik oldalon pozitív, az a másikon negatívan hathat, tehát figyelembe kell venni a drónok által jelentett kockázatokat, veszélyeket is. A negatív oldalon megkülönböztethető a nem szándékos veszélyeztetés drónok által, ezen belül a figyelmetlenségből vagy ismerethiányból adódó, valamint meghibásodás miatti veszélyeztetés; továbbá a szándékos fenyegetés drónok által, ezt végrehajthatják a drónt mint fegyvert alkalmazva, valamint felfegyverezhetik a repülőeszközt (2. ábra).



2. ábra

A drónok általi veszélyek és fenyegetések csoportosítása [a szerző szerkesztése]

Amennyiben a hasznos alkalmazási területeket és ágazatokat nem egyszerű összesíteni, úgy a drónok jelentette veszélyeket és fenyegetéseket még kevésbé könnyű. Internetes oldalak,

tudományos publikációk és könyvek egész sora dolgozza fel a különböző incidenseket, amelyek főszereplői drónok voltak. Ezekben az esetekben jellemzően nem a hadiipar kifinomult termékeire kell gondolni, hanem – ahogy a bevezetőben is szűkítettem a vizsgálandó területet – a kiskereskedelemben megvásárolható, elsősorban hobbicélú drónokra, amelyek alkalmazására néhány nem állami szereplő kész stratégiával, felhasználási eljárásokkal rendelkezik. A következőkben a 2. ábrán szereplő kategóriákat igazolandó számos esetet bemutatok.

A hagyományos légi forgalomhoz, a kritikus infrastruktúra elemeihez, kiemelt személyhez, középületekhez, magánszférához veszélyesen közel észlelt drónok jelentős része általában nem szándékos fenyegetés eredményeként történik, csupán a felhasználó rosszul navigál, nem ismeri a jogszabályi kereteket, korlátozásokat, netán provokáció a célja, esetleg megszűnik a kapcsolat a kezelő és a repülőeszköz között, vagy meghibásodik a repülő rész és lezuhan [30]. Számos esetet regisztráltak már, amikor a drónok az előző kategóriákba sorolható incidenseket okoztak: drón zuhant az amerikai Fehér Ház kertjébe, de Angela Merkel német kancellár közelében is zuhant már le drón, megsebesített sportolót, riportert és sportesemény-nézőket is; veszélyeztetett repülőgépeket és helikoptereket, észlelték stadionokban, ütközött épületeknek [31] is. Hazánkban is emelkedett a hagyományos légi közlekedés és drónok közötti konfliktusok száma, több mint 12 esetet jelentettek 2018-ban, míg az azt megelőző évben csupán négyet [32]. Az Egyesült Királyságban, Londonban pedig több repülőteret is megbénított a drónok jelenléte: a Gatwick repülőteret 36 órára bezárták, majd röviddel az újranyitás után még egyre [33], illetve Európa legforgalmasabb repülőterén, a Heathrow-n is le kellett állítani a forgalmat, ahol egyórányi zárva tartás is 1000 járatot érintett [34].

Az, hogy az előző esetek némelyikében (repülőterek, légi forgalom, épületek, fontos személyek veszélyeztetése) az indíték ártó szándék volt e, nehéz meghatározni, különösen, ha az elkövetőt nem tudták őrizetbe venni. Azonban könnyedén elkövethető hasonló, de súlyosabb kimenetelű támadás, amely a szándékos fenyegetés megvalósításának kategóriája a drónt fegyverzet nélkül, de fegyverként felhasználva. Az előző példák tehát ebben az esetben is megállják a helyüket, a kategória meghatározása az indítékon dől el.

Az előzőekhez hasonlóan a fegyverzettel vagy más káros vagy illegális „hasznos” teherrel ellátott, a kiskereskedelemből beszerzett drónok támadására is sok példa említhető a közelmúltból. A drónok fegyveres alkalmazását egyes források még az 1990-es évekre teszik [15: 360.], mások a Hezbollahot nevezik meg mint első alkalmazót a 2000-es évek elején [35]. Bárhogyan is legyen, az biztos, hogy az Iraki és Szíriai Iszlám Állam (Islamic State of Iraq and Syria – ISIS) komoly drónalkalmazási stratégiát dolgozott ki, kiképzőközpontokat hozott létre és támadásokra, illetve információgyűjtésre, esetleg pánikkeltésre (pszichológiai hadviselésre) is alkalmazza ezeket a repülőrendszereket [36: 2–14.], [37]. Az al-Káida terrorszervezet pedig egy olyan, 22 pontból álló kiadványt terjesztett a tagjai között, amely tájékoztatást ad az amerikai drónstratégiáról, és hogy milyen módszerekkel lehet e távirányított repülőrendszerek támadásait kevésbé hatékonyá tenni [38: 255.]. Tehát elmondható, hogy a nem állami szereplők a drónok által hatékony légi képességekre tettek szert.

A kisméretű távirányított repülőrendszerek olyan légi képességekhez juttathatnak állami és nem állami szereplőket, amelyek számára ez az anyagi feltételek okán, hagyományos légi eszközök formájában eddig nem volt elérhető. Ezt az elméletet, kimondottan a nem állami szereplőkre koncentrálva, már hazai [15: 360–366.] és nemzetközi [39: 15–16.] kutatók is rögzítették. Van, aki továbbmegy, és azt fogalmazza meg, hogy a relatíve olcsó drónok újraértelmezik a légtér birtoklásáért folytatott erőfeszítéseket és a légtér-szuverenitás fenntarthatóságát [40: 19–20.].

Egy másik tanulmány egy fiktív, de reális scenáriót vázol fel: egy légi bázison éppen ötödik generációs vadászrepülőgépeket készítenek fel hadászati légi támadási feladatok végrehajtására, támogatásukhoz egy légi üzemanyag-utántöltő repülőgép előkészítése is zajlik. A horizonton ekkor néhány sötét folt jelenik meg, amelyek egyre közelednek, majd közelebb érve már kivehető, hogy robbanószerkezetekkel felszerelt drónok érkeznek. A drónok a bombáikat ledobva számos repülőgépet felrobbantanak, a vadász- és utántöltő-repülőgépek robbanásai pedig az előkészítésben részt vevő személyi állomány jó részének halálát okozzák. A továbbiakban támadják a repülőtér üzemanyagtartályait, fegyvertároló épületeit is. Kis befektetéssel milliárdos károkat okoztak drónokkal, jelentős képességeket véve el egy állam légi dominanciájának fenntartásától [41: 102.]. Az eset fikció, azonban mindaddig, amíg egy légi bázison nincs hatékony védekezési mechanizmus a drónok ellen, könnyen megvalósítható lehetőségként és valós kockázatként kezelendő. Hasonló támadások végrehajtása elképzelhető erőművek, kormányzati és középületek, fontos személyek ellen is. Fontos a homloktérben tartani továbbá, hogy az előzőkben felvázolt támadásokhoz minden szükséges eszköz a kiskereskedelemből (drónok) és illegális forrásokból (robbanóanyag, -szerkezet) könnyen beszerezhető.

Az előzőeken túlmenően azonban nem csupán kinetikai támadásokkal lehet számolni, ami számunkra negatív hatású cselekmény. A drónok információgyűjtés is alkalmazhatók: már egészen kisméretű és olcsó drónok is fel vannak szerelve nagyfelbontású (High Definition – HD) kamerákkal, amelyekkel kiváló felvételek készíthetők védett személyekről, objektumokról stb. Az pedig, hogy milyen szenzort függesztenek ezekre a távirányított repülőeszközökre, csak a képzelet és az adott lehetőségek függvénye. Másik, számunkra negatív felhasználási terület: fontos adatok kerülhetnek rossz kezekbe a drónrepülések által. Egyes szakértők feltételezik, hogy a DJI gyártó drónjai [42] adatokat küldhetnek Kínába olyan területek fölül, amelyekről aligha lenne a távol-keleti országnak információja, amennyiben ezek a drónok nem „csempésznék” ki azokat [43]. A drónokkal nemcsak támadás és információszerezés valósítható meg, hanem légi szállítás is. Büntetésvégrehajtási intézményekbe számos illegális tárgyat próbáltak már bejuttatni: fegyvert, alkoholt, drogot, mobiltelefont [44]. Bizonyára az incidensek még nagyon hosszan sorolhatók lennének, illetve a lehetséges scenárióbeli események permutációi is nagy számot mutatnak, azonban csupán egy esetről kívánok beszámolni, amely az előző, azaz a légi szállítás és a kinetikai támadás egyvelege: 2015-ben a japán miniszterelnök rezidenciájának tetejére egy radioaktív anyagot szállító drón szállt le [45]. Az akciót nem támadásnak, inkább figyelmeztetésnek szánták, miután két, korábban leállított atomerőmű újraindításáról döntöttek, azonban az eset így is precedensértékű.

A szerző úgy gondolja, hogy a számos eset bemutatásán keresztül alátámasztotta és kellően demonstrálta a 2. ábrán felvázoltakat. Látható, hogy a drónok ártó alkalmazási területeinek száma jelentős, a veszélyeztetésekre és fenyegetésekre számos viszonylatból fel kell készülnie az államnak, amelynek kötelessége állampolgárait és intézményeit megvédeni. Magyarország esetében a közbiztonság fenntartásáért a rendőrség felelős, amelyet pedig a Kormány irányít [46: 46. cikk (1), (2)]. (A drónok elleni védekezés során felmerülő felelősségi kérdésekről később még említést tesz a szerző.) A veszélyek számosságából pedig előrevetíthető, hogy nem elégséges egyfajta védekezési vagy elhárítási megoldás, ezek összehangolt, jól átgondolt, az elemek egymást kiegészítő, erősítő rendszerének alkalmazására van szükség. A következőkben különböző védekezési megoldások leírása történik, amely komponensekből kialakítható egy- vagy többfajta, a remények szerint hatékony drónelhárító rendszer.

## Adminisztratív megoldások a drónforgalom kezelésére

A drónrepülések kezelésében lehetséges átfogó megoldások a különböző adminisztratív szabályozások. Ennek egy átfogó megnevezése lehet az úgynevezett távirányított repülések kezelőrendszere, bár a nehézkes magyar nyelvű megnevezés helyett talán érdemesebb a kompaktabb angol nyelvűt alkalmazni: Unmanned (aircraft system) Traffic Management (UTM). Az ICAO<sup>7</sup> [47] megfogalmazásában az UTM egy olyan légitforgalom-kezelő rendszer, amely elsősorban az alacsony magasságon közlekedő, 25 kg-nál könnyebb, távirányított repülőrendszerek (drónok) forgalmát hivatott megszervezni [48]. A NASA<sup>8</sup> jövőben kifejlesztendő rendszere magában foglalja a megfelelő légtér szerkezet és légi folyosók kialakítását; dinamikus GeoFencinget (lásd később); a drónrepülésekre veszélyes időjárási jelenségek és erős szél kerültetését; a földdel való ütközés megelőzését; útvonaltervezést és újratervezést; elkülönítés alkalmazását; és a vészhelyzetek kezelését. A rendszer sajátossága, hogy nagymértékben automatizált, emberi tevékenység csupán a rendszer üzemben tartásához szükséges, a légitforgalom-irányítás automatikus lenne. A rendszer kifejlesztés alatt áll, a tesztek 2015 óta folynak [49]. Az FAA egy átmeneti, koordinációs kutatócsoportot hozott létre, amely csoport egyezteteti az UTM-mel kapcsolatos kutatásokat és fejlesztéseket a NASA, FAA és egyéb iparági szereplők között. A NASA UTM-rendszerének elemein felül azonosítják a szükséges szolgáltatásokat; kutatják az információs architektúrát, az adatcsere-protokollokat, szoftverfunkciókat, a szükséges kiszolgáló infrastruktúrát, továbbá a rendszer szükséges teljesítménykövetelményeit a földfelszínhez viszonyított 400 láb (körülbelül 120 m) alatti repülések kiszolgálásához, kezeléséhez [50]. Ezekon túlmenően természetesen a tudományos érdeklődés is folyamatos az UTM-rendszerek működésével kapcsolatos gondolkodás, valamint a lehetséges rendszerfelépítés leírása [51].

Az előző rendszerhez képest egyszerűbb megoldás, illetve részét képezheti az előzőnek, de külön érdemes kiemelni az úgynevezett GeoFencinget és GeoCaginget. Előbbi megoldás során egy virtuális „kerítést” vannak adott objektumok vagy területek köré, amelyet a megfelelő berendezéssel ellátott drónok nem lépnek át, illetve a feladattervező szoftvereken láthatók ezek a lezárt légtérrészek [52]. Utóbbi pedig az előző ellentéte, tehát a drón „be van zárva” egy adott légtérrészbe, és ebből nem képes kirepülni, legalábbis figyelmeztetést kap, ha belép egy tiltott légtérbe, vagy kilép a számára kijelölt légtérből [53]. Ezek a szoftveres korlátozások a drónok kezelőprogramjába is beépíthetők, amelyeket vagy a tartozékként mellékelte kontroller alkalmaz, vagy valamelyik online úgynevezett alkalmazásboltból (például: Google Play, vagy Apple App Store) lehet letölteni okostelefonra, majd ezek szolgálnak kontrollerként. Magyarországon a DJI gyártó drónjai számára az előbb említett vezérlőszoftver meggátolja, hogy a Puskás Ferenc Stadion fölé bepölyödjön [54].

A magyarországi fejlesztés is előrehaladott a drónforgalom adminisztratív kezelését illetően. A HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt. kifejlesztett egy mobilalkalmazást, a MyDroneSpace-t, amely alkalmazással egyszerűsödik a Magyarországon jelenleg hatályos, a drónhasználatra vonatkozó jogszabályok betarthatósága. Az alkalmazásban a felhasználó be tudja regisztrálni magát és drónját; másik fontos momentum az úgynevezett eseti légtér

<sup>7</sup> International Civil Aviation Organisation – Nemzetközi Polgári Légiközlekedési Szervezet, az Egyesült Nemzetek Szervezetének (ENSZ) légi közlekedéssel foglalkozó szervezete, tagjainak száma 192 állam, köztük Magyarország.

<sup>8</sup> National Aeronautics and Space Administration – Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal (Amerikai Egyesült Államok).

megigénylése, ami ezen az applikáción keresztül leegyszerűsödik és az esetleges „ütközésekre” tehát más, a légtér szerkezet fix elemével való összeférhetlenségre figyelmeztet, és nem teszi lehetővé az eseti légtér megigénylését ilyen esetben, valamint megjeleníti a közelben más felhasználó által létrehozott eseti légtereket. Az alkalmazás motorjaként szolgáló, szintén online, de csak internetbőngészőből elérhető NetBriefing-rendszerben a különböző állami szervek által létrehozott drónmentes zónákra is figyelmeztet az applikáció, továbbá folyamatos a hazai UTM-rendszer fejlesztése, kialakítása [55].

Nagyon fontos továbbá a felhasználók vagy jövőbeni drónhasználók tájékoztatása, képzése a drónrepülésekkel kapcsolatos jogszabályi keretokről, a bekövetkező szabályozásváltozásról, az etikus, felelős drónrepülésről, az eszköz kezeléséről, továbbá szükséges megvizsgálni, hogy a drónhasználat kötődjön-e jogosítvány megszerzéséhez. Vizsgálandó továbbá, hogy lehetséges vagy szükséges-e a dróngyártás standardizálása, szabályozása, és meghatározhatók-e olyan minimális feltételek, amelyek hiányában nem értékesíthetők ezek az eszközök. A drónok nyomon követésében jelentős előrelépés lehetne, ha kötelező berendezéssé válna valamilyen másodlagos jeladó (transzponder), erre a megoldásra, azaz a drónok közhiteles nyomon követésére is többfajta módszer elképzelhető [56: 114–116.], [57: 274–277.].

Könnyen belátható, hogy az előző megoldások csupán az etikus, jogkövető, együttműködő drónhasználók esetében hasznosak, működőképesek, ami lehet magán-, üzleti vagy közszolgálati célú egyaránt. Az előbb említett rendszerek, jövőbeli szolgáltatások csupán az etikus alkalmazók drónforgalmát képesek szabályozni, mederbe terelni, az agresszív vagy illegális tevékenységek elhárításához radikálisabb megoldások szükségesek.

## Ellentevékenység az illegális drónhasználat megelőzésére

Annak érdekében tehát, hogy különböző illegális és agresszív tevékenységek megakadályozhatók legyenek, valamint hogy az elkövető, azaz a fenyegetés forrása is megtalálható legyen, az előzőeknél radikálisabb megoldásokat szükséges alkalmazni. Napjainkban már igen sok fajta ellentevékenységi megoldás létezik, számos vállalat kínál különböző eszközöket erre a célra. A következőkben különböző aspektusokra fókuszáló megoldásokat tekintek át, amelyekkel a fenyegetések kezelhetők. A céloom ebben a részben nem egy teljes, manapság elérhető ellentevékenységi „prospektus” összeállítása, csupán néhány példán keresztül bemutatni, hogy milyen megközelítésekből valósítható meg a drónok elleni fellépés.

A védekezés hatékonyságát alapvetően meghatározza a fenyegetés méretéről, irányáról rendelkezésre álló információ. Ezen információk biztosítására a rádiólokációs megoldások tekinthetők a legkézenfekvőbbeknek, azonban számos más detektálási és követési lehetőség is a rendelkezésre áll. Az elektromágneses hullámokon kívül alternatívát jelent az akusztikus felderítés, az elektromágneses jelkibocsátás felderítése, esetleg az elektro-optikai felderítés, kiegészítve infravörös érzékeléssel [58]. A rádiólokáció hátránya, hogy a kisméretű, kereskedelmi forgalomban értékesített drónok kevés olyan anyagot tartalmaznak, amely úgynevezett hatásos visszaverő-felületet képezne, azaz kevés beérkező rádiójel verődik vissza ezen eszközökről, tehát e körülmény az ilyen módszerrel végrehajtott felderítést megnehezíti. Az akusztikai felderítés során a drón felépítményének anyaga nem releváns, azonban az alkalmazott rotor mérete, karakterisztikája már meghatározhatja a felderítés sikerét, ugyanúgy, ahogy az alkalmazott motor típusa is. Ennek a módszernek a lényege, hogy a detektálást

és azonosítást végrehajtó berendezésben egy nagy érzékenyséű mikrofon érzékeli a drón hangját, egy mikroprocesszor a tárolt hangmintákhoz hasonlítja azt, és kiválasztja a megfelelőt, tehát a leggyakrabban használt dróntípusokat képes azonosítani is, ezáltal biztosítva többletinformációt. A korábban említett korlátozásokon túl ez a módszer nem képes észlelni a merevszárnyú eszközöket sikló üzemmódban; városi, zajos környezetben pedig számos zavaró hangforrás lehet jelen, azonban ezek megkülönböztetésében eléggé előrehaladott a fejlesztés. Az elektromágneses jelkibocsátás felderítése mind a repülőeszköz, mind pedig az azt irányító személy/állomás detektálására képes lehet. Utóbbi azért is fontos, mert ilyen módon nemcsak a drónfenyegetésre mint tünetre történhet reakció, hanem annak forrása, az elkövető/agresszor lokalizálása, megtalálása is lehetségessé válik. Adott esetben az elektrooptikai felderítés, kombinálva hőforrás-érzékeléssel is alkalmazható lehet, de az előzőekhez viszonyítva ez a megoldás tűnik a legkevésbé hatásosnak. A videóképen nehézkes a kisméretű objektumok észlelése, hacsak nem áll rendelkezésre valamilyen szoftveres támogatás, továbbá az infravörös tartományú érzékelést megnehezíti, hogy az elektromotorok csekély hőt termelnek, a madarak teste például magasabb hőmérsékletű, a rendszer összetévesztheti a céltárgyakat, hacsak a repülési profiljuk alapján nem tud különbséget tenni.

A védekezés egy következő, még aktívabb lehetősége a különböző zavarások alkalmazása. Ennek a védekezési módszernek is többfajta megoldása létezik, zavarható a kommunikáció az irányító és a drón között, zavarható csak a drón, illetve a helymeghatározó rendszer is. A rádióhullámok zavarása egy széleskörűen bevett módszer, számos esetben szokás alkalmazni. Jelen esetben az irányító és a drón közötti kommunikációra, irányításra szolgáló rádióhullámok zavarásáról van szó. Amennyiben az előbb említett kommunikációt blokkoljuk, úgy a drón nem fogja végrehajtani az irányító utasításait, viszont erre az esetre, azaz ha a repülő rész nem érzékeli a megfelelő beérkező jeleket, manapság legtöbb esetben valamilyen vészhelyzeti eljárást fog követni: leszáll, esetleg visszarepül az irányító utolsó ismert helyére vagy a felszállás helyére. Meggondolandó azonban e módszer alkalmazása, ugyanis amennyiben a távirányított repülőrendszer nem rendelkezik az előbbiekhöz hasonló vészhelyzeti mechanizmusokkal, esetleg szándékosan eltávolították a programjából, elképzelhető, hogy olyan járulékos károkat okozunk, amelyek csak súlyosbítják az adott szituációt. Továbbá javasolt csupán akkor alkalmazni ezt a megoldást, amikor valós fenyegetés áll fent, tehát nem folyamatosan végezni a zavarást, mert elképzelhető, hogy az effajta ellentevékenység más rádióhullámokkal kommunikáló eszközt is zavarni fog. Zavarható csak a repülő rész is, például a Battelle cég DroneDefender nevű termékével: a karabélyformájú és -méretű eszközzel megcélizzuk a drónt, ez egy nyalábba fogja azt, és egyenes, közepes sebességű mozdulattal a földre vezethetjük a repülőszerkezetet [59], [60]. Harmadrészt pedig zavarhatók a GNSS-től<sup>9</sup> kapott jelek, valamint hamis jelek közölhetők a drónnal, amivel szintén befolyásolható, vagy megakadályozható az illegális tevékenység [61]. Ennek a módszernek a hátránya szintén az alkalmazás környezetében történő nem kívánt ráhatás a szintén ilyen jeleket felhasználó készülékekre (mobiltelefonos, autós navigációs rendszerek stb.).

Amennyiben pedig az előző megoldások nem lennének hatásosak az illegális tevékenység vagy támadás elhárítására, úgy a kinetikus ellentevékenységi módszerek alkalmazása válik szükségessé. Ilyen megoldás lehet speciálisan felkészített drón alkalmazása, amely egy hálóval kapja el a szembenálló drónt [58], továbbá rakéták, gépágyúk, kézi fegyverek, lézerfegyverek,

<sup>9</sup> Global Navigation Satellite System – Globális Navigációs Műhold Rendszer

mikrohullámú fegyverek stb. E megoldásokról a szerző korábbi publikációjában is értekezett [3: 90–91.], továbbá más hazai [62] és külföldi kutatók írásai [41] is megtalálhatók e témában. Amennyiben a zavarás esetében számításba kell venni, akkor e „legaktívabb” védekezési formánál pedig fokozottan érvényes a járulékos károkozás kockázatának felmérése akár a lezuhanó törmelékek, akár maga a fegyveralkalmazás szempontjából.

## Javaslatok

Az általam eddig a témában tanulmányozott források számos lehetőséget vizsgálnak a drónokkal kapcsolatos ellentevékenység megvalósítására. Viszont a szerző azt tapasztalta, hogy még azok a források sem javasolnak valamilyen átfogó, rendszerszintű megoldást, amelyek, hasonlóan az előzőekhez, áttekintik, sokszor részletesebben, a szembenállási lehetőségeket. Jelen publikáció célja, ahogy azt már megfogalmazta a szerző, nem az, hogy egy újabb katalógus készüljön, hanem egy átfogó javaslat prezentálása a rendelkezésre álló elhárítási lehetőségekből, amely rendszer a speciális, drónfenyegetésekkel kapcsolatos aspektusokra lehet képes válaszolni.

A drónok elleni védekezés hadtudományi besorolását illetően a légielő-hadelmélet kerekeibe foglalható. Ezen belül is a légielő öt fő funkciója (feladatköre) közül (légi szembenállás, levegő-felszín támadás, információgyűjtés, légi mobilitás, személykimentés) [63: 1-8–1-17.] a légi szembenállás funkcióba sorolandó, itt pedig a védelmi légi szembenállás, avagy légvédelem keretén belül hajtják végre. A területi korlátokra figyelemmel nem történik meg a többi légielő-főfunkció olyan fajta kizárása az elméleti besorolás vizsgálatából, amikor azok leírása megtörténne, és tartalmukból egyértelműen kiderül, hogy a drónok elleni védekezés nem lehet részük. A következőkben azonban a szerző bemutatja a védelmi légi szembenállást, annak területeit, tartalmát, különböző funkcióit.

A védelmi légi szembenállás tehát a légi szembenállás része, amely főfunkció elsőként az előbb hivatkozott forrásban, a NATO AJP 3.3 B-ben jelenik meg. Eggyel alacsonyabb szintű dokumentum a NATO AJP 3.3.1 B, amelynek ötödik fejezete foglalkozik részletesebben e témakörrel. [64: 5-1–5-12.] Előbbi dokumentum megfogalmazásában „a védelmi légi szembenállás elsősorban az ellenséges légi- és rakétatámadások elleni tevékenység. A légvédelem aktív és passzív megoldásokat egyaránt magában foglal az erők és kulcsfontosságú érdekek megvédése céljából az ellenséges légi- és rakétatámadásokkal szemben. A légvédelem törekszik a behatoló légi járművek és rakéták lehető leghamarabbi elfogására. Törekszik az ellenséges légi járművek és rakéták felderítésére, azonosítására, elfogására, semlegesítésére vagy még inkább megsemmisítésére, amelyek behatolnak a saját légtérbe, vagy megtámadják a saját légi képességeket. A szűkszámú erőforrás ellenére hatékony lehet az ellentevékenység a feladatok prioritizálása és a megfelelő kockázatelemzés mellett. Következésképpen a hatásos reagálás átfogó infrastruktúra kiépítése és részletes tervezés által megvalósítható.” Amennyiben a drónok elleni védekezésre gondolunk, és az előző meghatározásba a légi eszközök és rakéták helyére a drón szó kerül, ugyancsak érvényes leírás születik, hiszen ugyanúgy légi fenyegetésről van szó kulcsfontosságú érdekeinkkel szemben.

A légvédelem két további területre osztható, az aktív és a passzív légvédelemre. „Az aktív légvédelem közvetlen védelmi tevékenység a saját erőforrások elleni légi- és rakétafenyegetés megsemmisítésére vagy csökkentésére. Magában foglalja repülőgépek, légvédelmi rakéták,

elektronikai harci képességek és más, a célra alkalmas fegyverek használatát. Előbbi fegyverrendszerek integrálása lehetővé teszi a mélységben történő védekezést és a többszöri fegyveralkalmazás lehetőségét.” Vizsgálva a lehetséges ellentevékenységekre, azok a megoldások képeznek a védekezés aktív elemeit. A szerző előbbi meghatározást is egészében érvényesnek tarja a drónok elleni védekezés során mint elvi keretrendszert.

„A passzív légvédelem az aktív légvédelem elemein kívül minden olyan rendszabályt magában foglal, amelyek bevezetésével csökkenthető az ellenséges légi- és rakétatámadások hatékonysága a saját erőforrásokkal szemben. E rendszabályok az álcázás, megtévesztés, széttelepítés, valamint a megerősítés.” Az előbbieket némelyike érvényesíthető lehet a hétköznapi drónokkal szembeni védekezésben, viszont nyilvánvalóan nem kívánunk középületeknek, erőműveknek, sportközpontoknak stb. háborús külsőt kölcsönözni. Azonban ugyanezen analógiát alapul véve például a dróngyártás és -értékesítés szabályozásával, illetve a megfelelő detektálási infrastruktúra kiépítésével, valamint egy jogszabályi és szoftveres keretrendszer segítségével mederbe terelhető az egyre nagyobb méreteket öltő drónforgalom.

Abban a kérdésben, hogy milyenek kellene lennie a drónok elleni védekezés folyamatának, szintén majdnem kész keretrendszert biztosít a NATO AJP 3.3.1 B:

- felderítés;
- útvonalba foglalás (nyomon követés);
- azonosítás;
- információáramoltatás;
- fegyverzet (ellentevékenységi forma) kijelölése;
- fegyverirányítás;
- fegyveralkalmazás;
- harcösszegzés;
- légi járművek újbóli felkészítése.

## Összegzés

Hangsúlyozandó a témakör jelentőségét a publikációban, elsőként a drónok növekvő számát igazoltam, ugyanebben a fejezetben a hagyományos légiforgalom méretét is bemutattam, hogy az összevetés lehetséges legyen. Az első fejezetben foglaltak bizonyítják, hogy a drónok száma jelentős mértékben fog növekedni, majd kifejtettem, hogy mind hobbi, mind üzleti célú felhasználásuk jelentőssé válik, továbbá a közszolgálati alkalmazásuk is egyre inkább kiszélesedik. Nagyon fontos tisztában lenni a lehetséges fenyegetésekkel is, számos példán keresztül, különböző fenyegetési formákat is bemutattam. Ezek után a szerző az általa adminisztratív drónforgalom-kezelési megoldásokként aposztrofált lehetőségeket mutatta be, amely elemekkel az együttműködő, agresszív szándékotól mentes drónhasználók repüléseit lehetséges mederbe terelni, továbbá egyéb megoldásokat is tartalmaz, mint a jogszabályi keretrendszert, tájékoztatást, oktatást, gyártás- és kereskedelmi szabályozást. A veszélyek elhárítására alkalmas aktív ellentevékenységi módszerek áttekintése pedig tematizálva történt. A javaslatok részben végül azt a rendszert tekintettük át, amelyik elég komplex megközelítést adhat a drónforgalom kezelésére, mind az általános, békés felhasználás esetében, mind pedig képes a fenyegetések elhárítására többfajta megközelítés alkalmazása mellett.

Összefoglalva, a hatékony drónforgalom-kezelés nem merülhet ki egy-egy elem különálló alkalmazásában. Ezen a területen egyelőre nincsenek olyan nagyméretű gyártók, nem állami szervezetek, amelyek képesek lennének megalkotni és üzemeltetni a megfelelő rendszereket. A drónforgalom kezelésére jelentős erőfeszítéseket szükséges megtenni a közeljövőben, amely feladat az egyes államokra, esetleg államközi együttműködésekre látszik hárulni. Annak az eldöntése, hogy a drónforgalom kezelése során mely terület belügyi vagy honvédelmi felelősségkör, későbbi jogi elemzések tárgya. A hatékony drónforgalom-kezelés alapeleme a jól szabályozott jogi környezet, ami többek között kitér a vezetői engedély kérdéskörére, a felelősségbiztosításra, a drón technikai paramétereire és kötelező tartozékaira, a légtérhasználat részleteire stb. Az ellentevékenységi folyamata a fenyegetést jelentő drónokkal szemben analóg a meglévő légvédelmi rendszerfunkciókkal:

- Először a légi cél felderítését szükséges végrehajtani, továbbá ezzel párhuzamosan a jelkibocsátást vizsgálva az irányító állomás helyét is igyekezni kell lokalizálni;
- A felderített céljelet útvonalba kell foglalni, azaz szoftver segítségével egy olyan céljellel alakítani, amely követése folyamatossá válik, elérhető a megtett útvonala, illetve az aktuális repülési tulajdonságai alapján predikció történik a legvalószínűbb jövőbeli (fél-egy perces időtávban) útvonalára;
- A rendelkezésre álló információk és repülési paraméterek alapján megtörténik az azonosítási kategóriákba (barát, ellenség, kereskedelmi, közszolgálati stb.) sorolás;
- Információáramlás kezdődik a légi célról, annak megfelelően, hogy az azonosítás eredményeként fenyegetést jelent-e a repülőeszköz, vagy sem;
- Amennyiben igen, a gyors kockázatelemzést követően vagy a megfelelő eljárás alkalmazása alapján meghatározandó az ellentevékenységi típusa;
- Az ellentevékenységi formájának kiválasztását követően megtörténik a megfelelő módszer alkalmazása, amely lehet esetleg csak zavarás, földre kényszerítés, impulzusfegyver vagy valamilyen kinetikus megoldás alkalmazása;
- Végül szükséges megvizsgálni, hogy megtörtént-e a fenyegetés elhárítása, majd a rendszer alaphelyzetbe állhat, azaz folytatódik a légtér megfigyelése az illetékeségi területen belül, az ellentevékenységi megoldások pedig felkészülnek a legközelebbi feladatra.

Ahhoz, hogy e feladatrendszer megvalósítható legyen, minden szükséges rendszerelem rendelkezésre áll, csupán a megfelelő integráció szükséges. Az egyes ellentevékenységi alkalmazások együttes alkalmazása szinergiába lép, vagyis a drónelhárító rendszer hatékonysága nem az elemek hatékonyságának összege, hanem ezek egymást kiegészítve rétegzett légvédelmi rendszert alkotnak.

## Hivatkozások

- [1] M. Palik szerk., *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013., p. 323.
- [2] I. Papp, „Pilóta nélküli légitársaság típusok jellemzése,” *Repüléstudományi Közlemények*, 25. évf. 2. sz. pp. 53–68. 2013.

- [3] L. J. Komjáthy és J. Csengeri, „A távirányított és pilóta nélküli repülőrendszerek alkalmazási lehetőségei a felkelők elleni műveletek során,” *Honvédségi Szemle*, 145. évf. 6. sz. pp. 81–92. 2017.
- [4] Federal Aviation Administration, [Online]. Elérhető: [www.faa.gov/](http://www.faa.gov/) (Letöltve: 2019. 02. 01.)
- [5] Eurocontrol, [Online]. Elérhető: [www.eurocontrol.int/](http://www.eurocontrol.int/) (Letöltve: 2019. 02. 01.)
- [6] Hungarocontrol [Online]. Elérhető: [www.hungarocontrol.hu/](http://www.hungarocontrol.hu/) (Letöltve: 2019. 02. 01.)
- [7] General Aviation Manufacturers Association, [Online]. Elérhető: <https://gama.aero/> (Letöltve: 2019. 02. 01.)
- [8] General Aviation Manufacturers Association, “2017 Annual Report” *General Aviation Manufacturers Association*, [Online]. Elérhető: [https://gama.aero/wp-content/uploads/GAMA\\_2017\\_AnnualReport\\_ForWeb\\_0518.pdf](https://gama.aero/wp-content/uploads/GAMA_2017_AnnualReport_ForWeb_0518.pdf) (Letöltve: 2019. 02. 01.)
- [9] Statista.com, “Size of aircraft fleets by region worldwide in 2018” *statista.com*, [Online]. Elérhető: [www.statista.com/statistics/262971/aircraft-fleets-by-region-worldwide/](http://www.statista.com/statistics/262971/aircraft-fleets-by-region-worldwide/) (Letöltve: 2019. 02. 05.)
- [10] European Business Aviation Association [Online]. Elérhető: [www.ebaa.org/](http://www.ebaa.org/) (Letöltve: 2019. 02. 05.)
- [11] European Business Aviation Association, Fleet Tracker Europe. *European Business Aviation Association*, December 2018. Jetnet, [Online]. Elérhető: [www.ebaa.org/app/uploads/2018/08/December-2018-Fleet-Report.pdf](http://www.ebaa.org/app/uploads/2018/08/December-2018-Fleet-Report.pdf) (Letöltve: 2019. 02. 05.)
- [12] International Air Transport Association [Online]. Elérhető: [www.iata.org/Pages/default.aspx](http://www.iata.org/Pages/default.aspx) (Letöltve: 2019. 02. 14.)
- [13] Global Firepower [Online]. Elérhető: [www.globalfirepower.com/](http://www.globalfirepower.com/) (Letöltve: 2019. 02. 14.)
- [14] Eurocontrol, European Drones Outlook Study – Unlocking the Value for Europe. *Eurocontrol*, 2016. [Online]. Elérhető: [https://sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European\\_Drones\\_Outlook\\_Study\\_2016.pdf](https://sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European_Drones_Outlook_Study_2016.pdf) (Letöltve: 2019. 01. 31.)
- [15] Z. Krajnc, „Drónok, hibrid fenyegetés, terrorizmus a légtérből: a légi hadviselés privatizálása,” *Hadmérnök*, 13. évf. 4. sz. pp. 358–369. 2018.
- [16] Magyar Idők, „Elérheti a százezret a drónhasználók száma,” *Magyar Idők*, 2018. július 31. [Online]. Elérhető: <https://magyaridok.hu/belfold/elerheti-a-szazezet-a-dronhasznalok-szama-magyarorszagon-3345824/> (Letöltve: 2019. 02. 14.)
- [17] E. Szaszin, „Már százezer drón röpköd a magyar égen” *markamonitor.hu*, [Online]. Elérhető: <https://markamonitor.hu/2018/09/20/mar-szazezer-dron-ropkod-a-magyar-egen/> (Letöltve: 2019. 02. 14.)
- [18] I. Patay és M. Montvajszki, „Drónok a mezőgazdaságban,” *Mezőgazdasági Technika*, 57. évf. 2. sz. pp. 18–20. 2016.
- [19] Piac és Profit, „A mezőgazdaságot is gyökeresen átalakítják a drónok,” *Piac és Profit*, [Online]. Elérhető: <https://piacesprofit.hu/infokom/a-mezogazdasagot-is-gyokeresen-atalakitjak-a-dronok/> (Letöltve: 2019. 02. 15.)
- [20] Élelmiszer Online, „Agro-drónok: a mezőgazdaság forradalmarai,” *Élelmiszer Online*, 2018. július 18. [Online]. Elérhető: [http://elelmiszer.hu/gazdasag/cikk/agro\\_dronok\\_\\_a\\_mezogazdasag\\_forradalmarai](http://elelmiszer.hu/gazdasag/cikk/agro_dronok__a_mezogazdasag_forradalmarai) (Letöltve: 2019. 02. 15.)
- [21] P. M. Hell, „Logisztikai folyamatok támogatása drónokkal,” *Köztes-Európa Társadalomtudományi Folyóirat*, 9. évf. 1–2. sz. pp. 65–71. 2017.
- [22] V. Rottler, „A drónok rendészeti alkalmazása (szaktanulmány)” *detektorplusz.hu*, [Online]. Elérhető: <http://detektorplusz.hu/index.php?m=23684> (Letöltve: 2019. 02. 15.)

- [23] Á. Restás, „A drónok alkalmazásának lehetőségei az iparbiztonság megelőző hatósági tevékenységei során,” In *Katasztrófavédelem 2018. Veszélyes tevékenységek biztonsága. Nemzetközi iparbiztonsági tudományos konferencia, Konferenciakiadvány, Budapest, 2018. november 15. pp. 339.*
- [24] L. Bertalan és Á. Restás, „A drónok katasztrófavédelmi alkalmazásának lehetőségei folyóvízi partpusztulás és árvízvár felmérésében,” In *Katasztrófavédelem 2018. Veszélyes tevékenységek biztonsága. Nemzetközi iparbiztonsági tudományos konferencia, Konferenciakiadvány. Budapest, 2018. november 15. pp. 317.*
- [25] D. Nemes és Á. Restás, „A drónok alkalmazásának lehetőségei veszélyes anyagokkal kapcsolatos balesetek felszámolásának elősegítése érdekében,” In *Katasztrófavédelem 2018. Veszélyes tevékenységek biztonsága. Nemzetközi iparbiztonsági tudományos konferencia, Konferenciakiadvány. Budapest, 2018. november 15. pp. 334.*
- [26] Á. Restás, „A drónok közszolgálati alkalmazásának lehetőségei,” *Új Magyar Közigazgatás*, 10. évf. 3. sz. pp. 49–63. 2017.
- [27] A. F. Varga, „A drónok mint a kockázatmentes hadviselés eszközei,” *Hadtudományi Szemle*, 6. évf. 2. sz. pp. 44–58. 2013.
- [28] J. Csengeri, „A légiereő mint a geostratégiai törekvések egyik meghatározó eszköze,” *Repüléstudományi Szemlények*, pp. 37–66. 2017.
- [29] NATO AJP-3.3.1 B Allied Joint Doctrine for Counter-Air, Brüsszel, NSA, 2010.
- [30] C. Cawley, “5 Unstoppable Drone Security Threats You Should Be Aware Of,” 15 Oct. 2015, *MakeUseOf.com*, [Online] Elérhető: [www.makeuseof.com/tag/unstoppable-drone-security-threats-aware/](http://www.makeuseof.com/tag/unstoppable-drone-security-threats-aware/) (Letöltve: 2019. 02. 26.)
- [31] C. Forrest, “17 Drone Disasters that Show Why the FAA Hates Drones,” *TechRepublic.com*, 13 June 2018, [Online] Elérhető: [www.techrepublic.com/article/12-drone-disasters-that-show-why-the-faa-hates-drones/](http://www.techrepublic.com/article/12-drone-disasters-that-show-why-the-faa-hates-drones/) (Letöltve: 2019. 02. 26.)
- [32] HungaroControl, „Egyre több a szabálysértő drónreptetés,” *HungaroControl*, [Online] Elérhető: [www.hungarocontrol.hu/sajtoszoba/hirek/%20Egyre%20t%C3%B6bb%20a%20szab%C3%A1lys%C3%A9rt%C5%91%20dr%C3%B3nreptet%C3%A9s](http://www.hungarocontrol.hu/sajtoszoba/hirek/%20Egyre%20t%C3%B6bb%20a%20szab%C3%A1lys%C3%A9rt%C5%91%20dr%C3%B3nreptet%C3%A9s) (Letöltve: 2019. 02. 26.)
- [33] G. Topham and F. Perraudin, “Two Arrested as Gatwick Reopens Following Latest Drone Sighting,” *The Guardian*, 22 Dec. 2018, [Online] Elérhető: [www.theguardian.com/uk-news/2018/dec/21/gatwick-airport-reopens-limited-number-of-flights-drone-disruption](http://www.theguardian.com/uk-news/2018/dec/21/gatwick-airport-reopens-limited-number-of-flights-drone-disruption) (Letöltve: 2019. 02. 26.)
- [34] K. Rawlinson, “Heathrow: Police Investigate after Drone Sighting Disrupts Flights,” *The Guardian*, 8 Jan. 2019, [Online] Elérhető: [www.theguardian.com/uk-news/2019/jan/08/heathrow-airport-departures-suspended-after-drone-sighting](http://www.theguardian.com/uk-news/2019/jan/08/heathrow-airport-departures-suspended-after-drone-sighting) (Letöltve: 2019. 02. 26.)
- [35] The Middle East Media Research Institute, S. Stalinsky, and R. Sosnow, “A Decade of Jihadi Organizations’ Use of Drones – From Early Experiments by Hizbullah, Hamas, And Al-Qaeda to Emerging National Security Crisis for the West as ISIS Launches First Attack Drones,” *The Middle East Media Research Institute*, 21 Feb. 2017. [Online] Elérhető: [www.memri.org/reports/decade-jihadi-organizations-use-drones-%E2%80%93-early-experiments-hizbullah-hamas-and-al-qaeda#Hizbullah%20Anchor](http://www.memri.org/reports/decade-jihadi-organizations-use-drones-%E2%80%93-early-experiments-hizbullah-hamas-and-al-qaeda#Hizbullah%20Anchor) (Letöltve: 2019. 03. 01.)
- [36] D. Rassler, *The Islamic State and Drones: Supply Scale and Future Threats*. West Point, Combating Terrorism Center, United States Military Academy, 2018. p. 24.

- [37] B. Watson, "The Drones of ISIS," *DefenseOne.com*, 12 Jan. 2017. [Online] Elérhető: [www.defenseone.com/technology/2017/01/drones-isis/134542/](http://www.defenseone.com/technology/2017/01/drones-isis/134542/) (Letöltve: 2019. 03. 01.)
- [38] L. Ványa, „Hogyan védekezzünk a drónok ellen?” *Repüléstudományi Közlemények*, 25. évf. 2. sz. pp. 255–261. 2013.
- [39] D. R. Patterson, "Defeating the Threat of Small Unmanned Aerial Systems," *Air & Space Power Journal*, vol. 31, no. 1, pp. 15–25, 2017.
- [40] J. Hurst, "Small Unmanned Aerial Systems and Tactical Air Control," *Air & Space Power Journal*, vol. 33, no. 1, pp. 19–33, 2019.
- [41] T. S. Palmer and J. P. Geis, "Defeating Small Civilian Unmanned Aerial Systems to Maintain Air Superiority," *Air & Space Power Journal*, vol. 31, no. 2, pp. 102–118, 2017.
- [42] "Phantom series," *DJI.com*, [Online] Elérhető: [https://store.dji.com/shop/phantom-series?from=menu\\_products](https://store.dji.com/shop/phantom-series?from=menu_products) (Letöltve: 2019. 03. 01.)
- [43] S. Ludwig, "Drones: A Security Tool, Threat and Challenge," *SecurityMagazine.com*, 9 March 2018, [Online] Elérhető: [www.securitymagazine.com/articles/88803-drones-a-security-tool-threat-and-challenge](http://www.securitymagazine.com/articles/88803-drones-a-security-tool-threat-and-challenge) (Letöltve: 2019. 02. 26.)
- [44] S. Ghislain, "The Menace of Drones in a Prison Environment," Counteracting Drones Conference, London, 2018. 12. 11-12.
- [45] W. Ripley, "Drone with Radioactive Material Found on Japanese Prime Minister's Roof," *CNN.com*, 22 Apr. 2015 [Online] Elérhető: <https://edition.cnn.com/2015/04/22/asia/japan-prime-minister-rooftop-drone/index.html> (Letöltve: 2019. 03. 01.)
- [46] Magyarország Alaptörvénye
- [47] "International Civil Aviation Organization" [Online] Elérhető: [www.icao.int/Pages/default.aspx](http://www.icao.int/Pages/default.aspx) (Letöltve: 2019. 03. 12.)
- [48] International Civil Aviation Organization, "Unmanned aerial system Traffic Management (UTM)," *International Civil Aviation Organization*, [Online] Elérhető: [www.icao.int/annual-report-2017/Pages/new-emerging-activities-unmanned-aerial-system-traffic-management.aspx](http://www.icao.int/annual-report-2017/Pages/new-emerging-activities-unmanned-aerial-system-traffic-management.aspx) (Letöltve: 2019. 03. 12.)
- [49] NASA, "Unmanned Aircraft System (UAS) Traffic Management (UTM)," NASA, [Online] Elérhető: <https://utm.arc.nasa.gov/index.shtml> (Letöltve: 2019. 03. 12.)
- [50] Federal Aviation Administration, "Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM)," *Federal Aviation Administration*, [Online] Elérhető: [www.faa.gov/uas/research\\_development/traffic\\_management/](http://www.faa.gov/uas/research_development/traffic_management/) (Letöltve: 2019. 03. 12.)
- [51] T. Jianga, J. Gellera, D. Nia and J. Collura, "Unmanned Aircraft System Traffic Management: Concept of Operation and System Architecture," *International Journal of Transportation Science and Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 123–135. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2017.01.004>
- [52] Aerial Information Systems Corporation, "What is Geofencing?" *Aerial Information Systems Corporation*, [Online] Elérhető: [www.aisc.aero/what-is-geofencing/](http://www.aisc.aero/what-is-geofencing/) (Letöltve: 2019. 03. 12.)
- [53] Single European Sky ATM Research – SESAR, "SESAR project researches tracking of drones in the airspace," 30 Oct. 2017, [Online] Elérhető: [www.sesarju.eu/news/sesar-project-researches-tracking-drones-airspace](http://www.sesarju.eu/news/sesar-project-researches-tracking-drones-airspace) (Letöltve: 2019. 03. 12.)
- [54] „Miért nem lehet drónnal berepülni a Puskás Ferenc Stadion fölé?” *HVG.hu* 2019. márc. 14. [Online] Elérhető: [https://hvg.hu/tudomany/20190314\\_dronok\\_repuloterek\\_dronradar](https://hvg.hu/tudomany/20190314_dronok_repuloterek_dronradar) (Letöltve: 2019. 03. 15.)

- [55] R. Markovits-Somogyi, „A MyDroneSpace bemutatása,” Hungarocontrol: Drón Konferencia és Expo – UTM és drón közösségi meetup, Budapest, 2018. 11. 22. [Online] Elérhető: <https://mydronespace.hu/aktualitasok/Dr%C3%B3n%20Konferencia> és [www.youtube.com/watch?v=oi2OCrodKKY&t=5369s](http://www.youtube.com/watch?v=oi2OCrodKKY&t=5369s) (Letöltve: 2019. 03. 15.)
- [56] A. Bódi, T. Szabó és T. Wühl, „Drónok követése közhiteles módon,” *Repüléstudományi Közlemények*, 28. évf. 2. sz. pp. 111–118. 2017.
- [57] I. Makkay, „ADS-B és a drónok,” *Repüléstudományi Közlemények*, 26. évf. 2. sz. pp. 272–278. 2015.
- [58] D. Sathyamoorthy, “A Review of Security Threats of Unmanned Aerial Vehicles and Mitigation Steps,” Science & Technology Research Institute for Defence (STRIDE), Ministry of Defence, Malaysia, 2015. [Online] Elérhető: [www.researchgate.net/publication/282443666\\_A\\_Review\\_of\\_Security\\_Threats\\_of\\_Unmanned\\_Aerial\\_Vehicles\\_and\\_Mitigation\\_Steps](http://www.researchgate.net/publication/282443666_A_Review_of_Security_Threats_of_Unmanned_Aerial_Vehicles_and_Mitigation_Steps) (Letöltve: 2019. 03. 20.)
- [59] Battelle, DroneDefender C-UAS Device [Online] Elérhető: [www.battelle.org/government-offerings/national-security/payloads-platforms-controls/counter-UAS-technologies/dronedefender](http://www.battelle.org/government-offerings/national-security/payloads-platforms-controls/counter-UAS-technologies/dronedefender) (Letöltve: 2019. 03. 22.)
- [60] Battelle, DroneDefender V2 Counter-UAS Device (videó) [Online] Elérhető: [www.youtube.com/watch?v=gXNxoHMUdGw](http://www.youtube.com/watch?v=gXNxoHMUdGw) (Letöltve: 2019. 03. 22.)
- [61] D. P. Shepard and T. E. Humphreys, “Characterization of Receiver Response to Spoofing Attacks,” Proceedings of ION GNSS, Portland, 2011. [Online] Elérhető: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.869.1854&rep=rep1&type=pdf> (2019.03.22.)
- [62] I. Makkay, „Drónok harca,” *Repüléstudományi Közlemények*, 27. évf. 1. sz. pp. 61–72. 2015.
- [63] NATO AJP 3.3 B Allied Joint Doctrine for Air and Space Operations, Brüsszel, NSO, 2016.
- [64] NATO AJP 3.3.1 B Allied Joint Doctrine for Counter-Air, Brüsszel, NSA, 2010.

## THE POSSIBILITIES OF SYSTEMATIC MANAGEMENT OF DRONE TRAFFIC AND DRONE THREATS

*The aim of the publication is not simply to present the applicable forms of unmanned traffic management and counter UAS measures, but to provide a system to arrange and operate these options. In the paper, the expression drone refers to small remotely piloted aircraft systems which can be purchased from commercial stores or from online stores and which are applied for own (hobby), business and public service purposes. After the introduction, the first chapter shows the intensively increasing number of drones which underlines the actuality of the topic. The second chapter provides an overview of the beneficial areas and the threats posed by drones. The third and fourth parts discuss the administrative measures of drone traffic management and the possible active countermeasures against drone threats. In the penultimate chapter, the author suggests a sample system which might be applicable for managing drone traffic and drone threats, and the final chapter summarises the comprehensive system of drone traffic and threat management.*

**Keywords:** drone, drone traffic, drone threats, system, traffic management, counter measure

---

*Csengeri János MSc*  
*egyetemi tanársegéd*  
*Nemzeti Köszolgálati Egyetem*  
*Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar*  
*Katonai Vezetőképző Intézet*  
*Összhaderőnemi Műveleti Tanszék*  
[csengeri.janos@uni-nke.hu](mailto:csengeri.janos@uni-nke.hu)  
<https://orcid.org/0000-0002-4540-9681>

*János Csengeri MSc*  
*Assistant Lecturer*  
*National University of Public Service*  
*Faculty of Military Science and Officer Training*  
*Institute of Military Leadership Training*  
*Department of Joint Operations*  
[csengeri.janos@uni-nke.hu](mailto:csengeri.janos@uni-nke.hu)  
<https://orcid.org/0000-0002-4540-9681>

---



Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-3-III-NKE-19 kódszámú  
*Új Nemzeti Kiválóság Programjának* támogatásával készült.



Venczel Márk, Peredy Zoltán, Rohács Dániel, Rohács József

## Intelligens biztonsági megoldások a nemzetközi repülőterek jövőbeli terrorfenyegetettségének hatékony csökkentése érdekében

*A légi személy- és áruszállítási iparág napjainkra globális méretű szektorra nőtte ki magát. Határokon átnyúlva országokat, kontinenseket köt össze, megkönnyítve a gyors kapcsolatfelvételt. A légi közlekedés gazdasági, társadalmi jelentősége és hatásai miatt egyik preferált célpontja a terrorizmusnak. Amíg az elmúlt évtizedek terroristacselekményeiből levont tanulságoknak köszönhetően a repülőgépek őrzésével, ellenőrzésével kapcsolatos biztonsági eljárások megszigorodtak, addig a nemzetközi repülőtereknek az utasforgalom számára nyitott területei mind a mai napig nem megfelelően védettek biztonsági szempontból. Alapvető, hogy minél előbb bevezessék az intelligens (smart), a mesterséges intelligencián (AI) alapuló újgenerációs biztonságtechnikai megoldásokat, amelyek pontosabban, gyorsabban, megbízhatóbban és hatékonyabban szűrik ki a különböző kockázati tényezőket. Ugyanakkor fontos a biztonsági személyzet jogszerű, szakszerű és kulturált intézkedése, ellenőrző tevékenysége az utasokkal szemben, amelyre szimulációs helyzetgyakorlatokkal és továbbképzésekkel lehet felkészíteni őket.*

**Kulcsszavak:** repülőtér biztonsága, repülőtéri infrastruktúrák, légi terrorcselekmények, intelligens biztonsági megoldások, belső kockázatok

### Bevezetés

A légi személy- és áruszállítási iparág napjainkra globális jelentőségű szektorra nőtte ki magát. Határokon átnyúlva országokat, kontinenseket köt össze gyorsan és egyszerűen célba juttatva a különböző árucikkeket, utasok tömegeit, időt és költségeket takarítva meg, megkönnyítve a gyors kapcsolatfelvételt. Emellett a regionális és a globális gazdasági növekedéshez (munkahelyteremtés, GDP-termelés) is számottevő mértékben járul hozzá az iparág működtetésével és a hozzá köthető különböző szolgáltatások biztosításával, ahogy ez az 1. táblázatban látható.

1. táblázat

A légit közlekedési iparág összesített globális utasforgalmi és GDP-kibocsátási adatai 2017-ben [1]

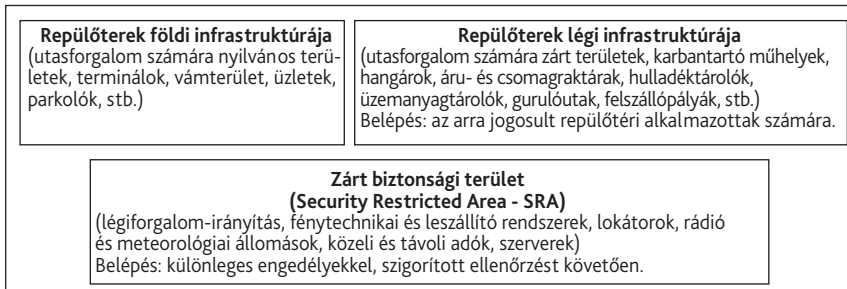
Régió	Munkahelyek száma (millió fő)	A régió összes munkahelyeinek hány %-a	GDP-kibocsátás (Mrd USD)	A régió össz GDP-jének hány %-a	Utasszám (millió fő)	Globális utasszám hány %-a	Utasforgalom növekedése 2016-2036 (%)	Járatok száma (millió db)
Afrika	6,2	1,8	55,8	2,6	98	2	4,9	1,13
Dél-Kelet Ázsia	30,2	1,6	684	2,7	1500	37	5,5	11,817
Európa	12,2	3,3	823	4,1	1000	26	3,4	8,544
Latin-Amerika	7,2	2,8	156	3,3	316	8	4,2	3,134
Közél-Kelet	2,4	3,3	130	4,4	172	4	5,8	1,198
Észak-Amerika	7,3	4,3	844	4,2	939	23	2,7	10,179
<b>ÖSSZESEN</b>	<b>65,5</b>		<b>2700</b>		<b>4100</b>		<b>4,3</b>	<b>41,9</b>

A légi közlekedés gazdasági, társadalmi jelentősége és hatásai miatt mindig is egyik preferált célpontja volt a terrorizmusnak. Amíg az elmúlt évtizedek, elsősorban a repülőgépekre fókuszáló (gépeltérítések, repülőgép-robbantások), terroristacselekményeiből levont tanulságoknak köszönhetően a repülőgépek őrzésével, ellenőrzésével kapcsolatos biztonsági eljárások megszigorodtak, nagymértékben megnehezítve a potenciális elkövetők dolgát, addig a nemzetközi repülőtereknek az utasforgalom számára nyitott területei mind a mai napig nem megfelelően védettek biztonsági szempontból [2], [3].

Egyre gyakoribbak a repülőterek különböző földi infrastruktúrái ellen intézett, közvetlen terrortámadások [4]. Ez felveti a kérdést: hogyan lehetne olyan új, intelligens biztonságtechnikai és logisztikai megoldásokat találni, amelyek a jelenlegi módszereknél megbízhatóbban, gyorsabban és költséghatékonyabban szűrik ki a gyanús személyeket, poggyászokat téves riasztások és fennakadások nélkül. Ehhez szükséges a biztonsági személyzet és a repülőtéren alkalmazottak részére a rendszeres képzések megszervezése is, részben az újgenerációs technikai eszközök kezeléséhez, részben pedig a határozott, de kulturált intézkedési eljárásoknak a professzionális szintű begyakorlásához. Emellett a repülőterek menedzsmentjének kiemelt figyelmet kell fordítania a repülőtéren alkalmazottakra (akiknek lehetőségük van a repülőtereknek az utasforgalom elől elzárt ügynevezett érzékeny/kritikus területeire belépni), valamint a munkavégzésükből eredő ügynevezett belső kockázatok feltárására és kezelésére is. Jelen cikk keretében áttekintjük a repülőterek infrastruktúráját és biztonsági kérdéseit, a légi közlekedésben elkövetett terrorcselekmények típusait és jellemzőit, a jelenleg alkalmazott hagyományos biztonságtechnikai megoldásokat, majd az újgenerációs, a mesterséges intelligencián alapuló korszerű biztonsági eszközöket. Végezetül ejtünk pár szót a légi közlekedés belülről adódó fenyegetettségéről, valamint azok kiküszöbölését célzó intézkedésekről.

## Repülőtéren infrastruktúrák és a biztonság

A repülőtereken történik a légi járművek indítása, fogadása, a földi mozgatásuk, a repülőgépek és utasok kiszolgálása, valamint a teherforgalommal kapcsolatos logisztikai folyamatokat is itt végzik [5].



1. ábra

A repülőtéri infrastruktúra különböző típusai [5]

Az 1. ábra alapján közlekedésüzemi és biztonsági szempontból alapvető a repülőterek nyilvános és zárt területei biztonságának javítása (illetéktelenek, gyanús személyek gyors és megbízható kiszűrése, szigorúbb beléptetési eljárások a biztonsági pontokon, hatékonyabb utas- és poggyász-átvillágítás). A terrorakciók elkövetésére készülő személyek elsősorban a terminálokon keresztül tudják felcsempészni a robbanóanyagokat és a fegyvereket a légi járművekre, de megpróbálhatnak az elzárt területeken keresztül is szabotázsokat, üzemzavarokat előidézni.

Repülőterek utasforgalom elől elzárt területeire a belépés az illetékes személyek részére az alábbi engedélyek valamelyikével vagy együttes meglétével lehetséges [6]:

- repülőtéri munkavállalói azonosító kártya;
- eseti belépési engedély;
- érvényes repülőszemélyzeti (CREW) azonosító kártya;
- a légi közlekedési hatóság(ok) által kiadott légiközlekedés-védelmi ellenőrzésre vagy légiközlekedés-védelmi felügyeleti tevékenységre jogosító igazolvány;
- állandó behajtási engedély;
- eseti behajtási engedély.

## Repülőterek biztonsági kihívásai

Elsődleges célkitűzés az utasok, a személyzet, a földi személyzet és az általános közönség biztonsága olyan esetben, amely a nemzetközi polgári légi közlekedésnek illegális, zavaró cselekményekkel szembeni megvédésére vonatkozik, így különösen fontos:

- bármilyen eszközzel megakadályozni fegyverek, robbanóanyagok vagy más veszélyes eszközök felvitelét a repülőgép fedélzetére, amelyek viselése nem engedélyezett, és amelyek törvénytelen cselekmények elkövetésére használhatók. A tiltott tárgyak listáját a [7] tartalmazza;
- repülőgépeknek a repülés előtti ellenőrzése, amely segíti a gyanús tárgyak vagy rendellenességek feltárását;
- intézkedések kidolgozása a repülőgép földi védelmére;
- a biztonsági igények feltárását szolgáló biztonsági ellenőrzések;
- megfelelően képzett személyzet alkalmazása, akik hathatós segítséget tudnak nyújtani törvénytelen, zavaró cselekmény esetén.

A légi forgalom biztonsága és biztosítása összetett védelmi rendszert kíván, amely a nap 24 órájában folyamatos üzembiztonsággal és a technológiai tévedés lehetőségének kizárásával működik. A főbb biztonsági kérdések:

- az utasok és az alkalmazottak védelme;
- a terrorizmus minden lehetséges formájának (bombafenyegetések, öngyilkos merényletek, szabotázsakciók és gépeltérítések) megakadályozása;
- tűzesetek és robbanások kezelése;
- különböző belépési jogosultságok széles skálájának kezelése.

## Légitársasági Védelmi Terv [8]

A Légitársasági Védelmi Tervnek a légitársaság által követendő, a légi utasok, a személyzetek, a földi alkalmazottak, a légi járművek és a létesítmények jogellenes cselekményekkel szembeni védelme érdekét szolgáló gyakorlatokat és eljárásokat kell meghatároznia.

A Légitársasági Védelmi Tervnek legkevesebb a következőket kell tartalmaznia:

- Légitársasági Védelmi Terv célkitűzései és a megvalósításához szükséges intézkedések;
- légitársaság védelmi funkcióinak megszervezése és egy felelős légiközlekedés-védelmi tiszt kijelölése;
- a légi közlekedés védelmét biztosító intézkedések;
- kényszerhelyzeti tervezés.

## *Terrorcselekmények a légiközlekedésben*

A terrorizmus fogalmának meghatározására a nemzetközi közösség már több évtizede folyamatosan tesznek erőfeszítéseket, amelyek eredményeként számos fogalom született mind a nemzeti, mind a nemzetközi jogban. Átfogó, mindenki által közmegegyezéssel elfogadott definíció sikeres megalkotásáról azonban jelenleg nem beszélhetünk. A terrorizmus fogalmának lehetséges általános, cselekménytípustól független közös elemei [9]:

- az erőszak tudatos és célzott alkalmazása vallási, ideológiai, etnikai, ökológiai vagy politikai célok/követelések elérése és/vagy a médiafigyelem megszerzése érdekében (közvetlenül a támadások előtt vagy után a médiumok értesítése, a terrorizmus erejének látványos „publikálása”);
- az erőszak elkövetése történhet egyénileg, csoportosan vagy titkos szervezetek által;
- félelemkeltés a célszemélyekben, célcsoportokban annak érdekében, hogy a terrorcselekmények egyértelműen különbözzenek más bűncselekményektől;
- nemzetközi (gazdasági, társadalmi, diplomáciai) kihatásokra való törekvés (számos esetben globalizáció- és nyugatellenes retorikával egybekötve).

## A terroristaakciók típusai és jellemzői a légi közlekedésben

A légi terrorizmus több cselekményt is magában foglal [2], [10], [11]:

- repülőgép-elterítés;
- repülőterek elleni támadások;
- repülőgépek felrobbantása;
- repülőterek kiszolgáló területei elleni támadások.

A 2. táblázat a légiközlekedési iparágban elkövetett különböző terrorcselekmények célcsoportjait és céljait foglalja össze.

2. táblázat  
A légi terrorcselekmények típusai és célrendszere [11]

A terrorcselekmény típusa	A terrorcselekmény érintettjei	A terroristák célja
Repülőgép-elterítés, túsok ejtése.	Utasok és hajózőszemélyzet	Politikai követelések teljesítése, médiafigyelem megszerzése. A direkt károkozás nem elsődleges szempont.
„Parkoló” repülőgép megszerzése a mozgásszabadság érdekében.	Repülőgép	Terroristák szállítása egyik földrajzi pontból a másikba.
Repülőgép felrobbantása a levegőben.	Repülőgép, utasok, hajózőszemélyzet	Jelentős anyagi és politikai károkozás, pszichológiai fájdalom generálása, félelemkeltés.
Repülőtéri földi infrastruktúrák elleni közvetlen támadás.	Földi kiszolgáló létesítmények (például parkolók, terminálok), repülőtéri alkalmazottak, utasok	Jelentős anyagi és politikai károkozás, pszichológiai fájdalom generálása, félelemkeltés.
Repülőtéri terminálok elleni támadások.	Utasok, repülőtéri alkalmazottak	Jelentős anyagi és politikai károkozás, pszichológiai fájdalom generálása, félelemkeltés.

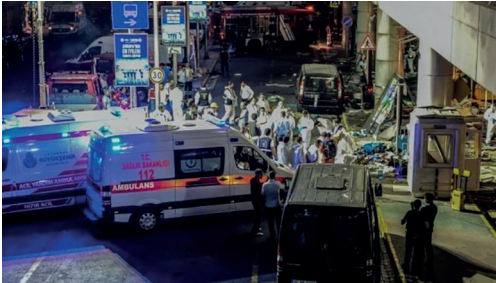
A légi terrorizmus mértékét a 3. táblázat mutatja összesített statisztikai adatok segítségével.

3. táblázat  
A különböző terrortámadások és halálos áldozataik száma a légi közlekedés kezdetétől napjainkig [3]

Terrortámadások száma (darab) a légi közlekedésben (1931–2016)				
Repülőterek földi infrastruktúrája elleni támadások	Repülőgép-elterítések	Szabotázsakciók	Öngyilkosmerényletek	Összesen
338	221	56	20	635
Terrortámadások halálos áldozatainak száma (fő) 1931–2016				
Repülőterek földi infrastruktúrája elleni támadások	Repülőgép-elterítések	Szabotázsakciók	Öngyilkosmerényletek	Összesen
1650	279	1 726	3159	6814

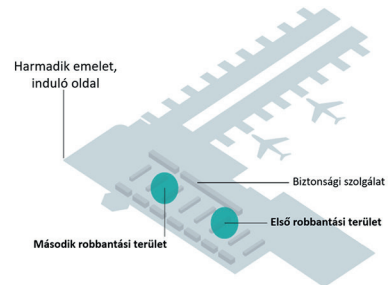
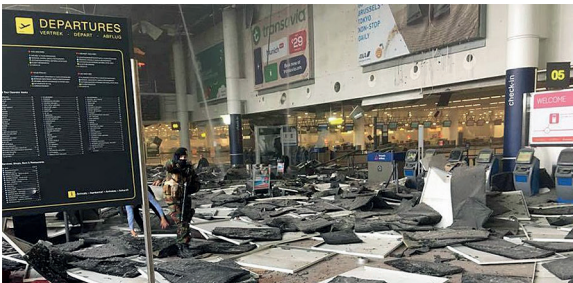
A légi közlekedésben elkövetett terroristaakciók célpontjai az 1960-as évek repülőgép-elterítéseiről és 1980-as és 1990-es évek repülőgép-robbantásairól a 2010-es éveket követően fokozatosan áthelyeződtek a nemzetközi repülőterek földi infrastruktúrája (nyilvános és zárt területek) elleni támadásokra, amelyek egyre súlyosabbak lesznek. Erre példák: 2011-ben Moszkvában a Domodedovo Nemzetközi Repülőtér Érkezési Terminálján (Arrival Hall) egy öngyilkos merénylő által robbantott bomba 37 embert ölt meg. A 2. ábrán látható, hogy 2016-ban

Izstambulban az Atatürk Nemzetközi Repülőtéren három, az Iszlám Államhoz (ISIS) tartozó terrorista a repülőtér földi létesítményeinél három különböző pontot robbantott bombát. A bombatámadás során 41 embert (ebből 13 külföldi állampolgárt) öltek meg, és több mint 230-an sérültek meg. A 3. ábrán látható Zaventem Nemzetközi Repülőtér (Brüsszel) terminálján szintén 2016-ban robbant két különböző ponton bomba, megölve 32 embert [12], [13].



2. ábra

Izstambul, Atatürk Nemzetközi Repülőtér 2016-ban a robbantások után (balra), valamint a bombák robbanási helyszínei (jobbra) [12]



3. ábra

Brüsszel, Zaventem Nemzetközi Repülőtér 2016-ban a robbantások után (balra), valamint a bombák robbanási helyszínei (jobbra) [13]

Mindhárom repülőtéri bombarobbanás a földi infrastruktúra nyilvános, utasforgalom számára hozzáférhető területen történt, és az utólagos vizsgálatok minden esetben a biztonsági rendszer hiányosságaira mutattak rá.

## Hagyományos repülőtéri biztonsági megoldások

A repülőterek menedzsmentje számára az egyik legnagyobb kihívás, hogy a növekvő utasforgalom következtében az utasok gyorsan és biztonságosan (torlódások és fennakadások nélkül) átjussanak a jelenleg meglévő ellenőrzőpontokon. Másfelől a jelenleg alkalmazott hagyományos technikai megoldások érzékenysége, megbízhatósága, pontossága korlátozott. A 4. táblázat mutatja a jelenleg széles körben, régóta alkalmazott megoldásokat, amelyeknek továbbfejlesztése vagy korszerűbb módszerekkel való kiváltása egyre inkább sürgetővé válik.

4. táblázat  
Jelenleg alkalmazott repülőtéri hagyományos biztonsági megoldások [14]

Megoldás	Lényege
<b>Csomag- és szállítmányvizsgáló röntgenberendezések</b>	A nemzetközi repülőtereken több mint 30 éve használják ezeket a berendezéseket. A legfejlettebb biztonsági röntgenberendezések képesek a 0,1 mm átmérőjű rézhuzal pontos megjelenítésére és a folyadék, gél, illetve aeroszol halmazállapotú robbanóanyagok kiszűrésére is.
<b>Fém-detektor kapuk</b>	A fém-detektor kapuk az áthaladó személyeknél lévő fémtárgyak felderítésére szolgálnak. Olyan nagy az igény ezekre a berendezésekre, hogy különböző típusú kapukat gyártanak általános biztonsági célokra (például közintézményekbe), büntetés-végrehajtási intézményekbe, gyártóüzemekbe, illetve a repülőterekre.
<b>Kézi fém-detektorok</b>	A fém-detektor kapu által kiválasztott személynél a fémtárgyak elhelyezkedését lokalizálják. Alkalmasak sípólással vagy hangtalanul (rezgéssel) jelezni a fémtálatatot, illetve a hang (rezgés) intenzitása arányos a megtalált fémtömeg nagyságával.
<b>Folyadék-analizáló készülékek</b>	A berendezés a folyadékok fizikai tulajdonságai alapján szűri ki a veszélyes anyagokat (felbontás nélkül) a palack behelyezésével. Az adott folyadékra jellemző spektrumot összeveti a berendezés számítógépe a saját referencia-könyvtárával, megállapítva így, hogy a folyadék veszélyes-e vagy sem. A tálcára helyezett folyadékokat át lehet vizsgálni röntgensugaras berendezéssel is. Ezekbe a berendezésekbe bele van építve a robbanóanyag- és a robbanóanyagnyom-felderítőeszköz. Az EMA, azaz az elektromágneses folyadék-elemző gép akkor is használatban van, amikor a röntgengépek gyanúsnak találják a folyadékot. Ebben az esetben mindenképpen le kell ellenőrizni ezzel az eszközzel a folyadékot.
<b>Bombavédelmi konténerek</b>	<p>Az elhagyott vagy gazdátlan csomagok, kézipoggyászok komoly biztonsági kockázatot jelentenek. Az ilyen csomagokat, annak minimális mozgatásával, haladéktalanul el kell különíteni és a tűzszerészszakemberek helyszínre érkezéséig biztos helyen (izolációs konténerben) kell tárolni. Az egyik csoportba tartoznak a több centiméter vastag ásványi anyag keverékekből álló speciális (kompozit) összetételű, merev falú robbanási energia-és repeszelnyelő megoldások. A bombakonténer belső fala elnyeli, felemészti a robbanási energia nagy részét. A konténer maximális deformáció mellett is képes megakadályozni az emberekre különösen veszélyes repeszek kirepülését a tartályból.</p> <p>A másik csoportba a lágy falú bombakonténerek tartoznak, amelyek a robbanási energia egy részét detonáció formájában ugyan továbbengedik, de így is jelentősen csökkentik a bomboló hatást a környezetükben. Ezeknél a védőeszközöknél a repeszhatás elhárítása az elsődleges cél. A merev falú konténerekkel szemben ezeknek a védőeszközöknek a tömege fele-, negyeddakora vagy akár töredéke is lehet.</p>

## Újgenerációs, intelligens repülőtéri biztonsági megoldások

A légi közlekedési iparág globálisan előrejelzett növekedése miatt a jelenleginél jóval hatékonyabb biztonsági megoldásokra van szükség, amelyek mérséklik a repülőterek terrorfenyegetettségét, egyben javítják az ügyfélélményt, jelentősen csökkentve a biztonsági rendszereken való „átfutási időket” egy magasabb biztonsági szint mellett. Az „Intelligens Biztonság” (Smart Security) az IATA<sup>1</sup> és az ACI<sup>2</sup> közös kezdeményezése. [15]

<sup>1</sup> Nemzetközi Légi Szállítási Szövetség (IATA): a légi közlekedési iparág szereplőit tömörítő, montreali székhelyű kereskedelmi szervezet.

<sup>2</sup> Repülőterek Nemzetközi Tanácsa (ACI): 1991-ben alapított, a világ repülőtereit tömörítő szervezet.

## Gyanús személyek hatékony kiszűrése [16]

A régóta alkalmazott hagyományos zárt láncú (CCTV) kamerák csupán „néznek, de nem látnak”. Képtelenek releváns mozzanatok „felismerésére” és jelzésére, vagyis a közbeavatkozásra. Még a kiképzett operátorok alkalmazásával is szinte megoldhatatlan feladat a nagy tömegű képi információ értékelése és feldolgozása. Ezzel szemben a mesterséges intelligencia (AI)<sup>3</sup> alapú okos rendszerek különböző algoritmusok szerint aktív képi elemző és értékelő tevékenységet végeznek, és minden fontos eseményre azonnal riasztanak. Az intelligens kamerarendszerek főbb elemei:

- *Viselkedéselemző algoritmusok*: A rendszer képes detektálni a szokatlan/nem életszerű magatartásokat. A hirtelen irányváltás vagy a kézipoggyász elhagyása és bármilyen feltűnő viselkedés azonnal az operátor látókörébe hozza a célszemélyt. Az ilyen jelzések nagymértékben segíthetik a terrortámadások megghiúsítását, megelőzését. Az „öntanuló” szoftverek képesek felismerni az utcai járókelők szokásos viselkedési mintázatait, és bizonyos „betanulási” időszakot követően minden átlagos hétköznapi eseménytől eltérő mozzanatot azonnal jeleznek.
- *Testhőmérséklet-változások kiszűrése*: A szoftver képes felismerni az erőteljesebb hangokat, a rendellenes testmozgásokat, és a hirtelen testhőmérséklet-változásokat is. Az okos algoritmus nyilvánvaló módon nem csupán viselkedési mintákat elemez, de előre is jelez (prediktív). A jelentések szerint a poggyászok képi ellenőrzése is egy opció.
- *Újgenerációs biometrikus azonosító eljárások*: Az ujjlenyomat-, retina-, hang- és vénaszkenneres megoldások mellett egyre elterjedtebben vezetik be és alkalmazzák az arcfelismerő algoritmusokat.<sup>4</sup> A hatóságok által előre beprogramozott képi információk alapján a technológiával a körözött bűnözőket, illetve már nyilvántartásba vett terroristákat is képesek beazonosítani, ahogyan az a 4. ábrán látható.
- *Személy- és tárgy (például személygépkocsi) követési algoritmus* is sokat segíthet bármilyen szempontból gyanús körülmény tisztázása érdekében. Különösen nagy repülőterek parkolójának felügyeletére és ellenőrzésére kiválóan alkalmas, főleg ha rendszámfelismerő rendszerekkel integrálják.

<sup>3</sup> A Mesterséges Intelligencia (AI) a számítástechnika egyik területe, amely azzal foglalkozik, hogy egy létrehozott program vagy rendszer képes legyen a különböző környezeti behatásokra állandó emberi beavatkozás nélkül is adekvát válaszokat adni, megoldva gazdasági, társadalmi, orvosi, műszaki stb. problémákat.

<sup>4</sup> Az Amerikai Egyesült Államok Vámhivatala a dallasi repülőtéren kezdte el használni az MFlow-t, amely érzékel és követi az utasok mozgását, hogy preventív jelzéseivel segítse a „problémás” utasok kiszűrését. Az izraeli Faception cég fejlesztői olyan mesterséges intelligenciát hoztak létre, amely az arcok sajátosságainak elemzéséből profilozási következtetéseket tud levonni. Az eljárás képes felismerni terroristákat, pedofil személyeket, de akár magas intelligenciájú egyéneket is, és már működő arcfelismerő kamerarendszerekbe is lehet integrálni.



4. ábra

*Az izraeli Faception valós idejű, gépi tanuláson<sup>5</sup> alapuló arcfelismerő rendszere a gyakorlatban [17]*

## Következő generációs innovatív megoldások az utasok átvilágítására [18]

A repülőterek növekvő utasforgalma megköveteli, hogy költséghatékonyan, gyorsan és megbízhatóan történjen az utasok átvilágítása/szkennelése a biztonsági pontoknál. Ennek egyik feltétele olyan megoldások kifejlesztése és bevezetése, amelyek kiküszöbölik azt, hogy az utasok a biztonsági ellenőrzések során eltávolítsák az elektronikai eszközöket, fémtárgyakat és a folyadékokat a kabát-, ruhazsebekből vagy kiegészítőkből. Mesterséges intelligenciát fejlesztenek ki, amely elemzi a repülőtér röntgenszkennereiből származó képeket, és bármit azonosíthat, ami nem tűnik megfelelőnek. Egy ilyen rendszer megtanulná, hogyan néz ki például egy tipikus laptop, és felismeri, ha azt olyan anyagokra módosították, amelyeket még soha nem láttak.

- *Scanna cipőszkenner:* Az Egyesült Királyságban a Future Aviation Security Solutions (Fass) program keretében fejlesztették ki a jelenleg még prototípusfázisban lévő, a cipők levételét kiküszöbölő, a Scanna cég által kifejlesztett cipőszkenner (lásd 5. ábra). A berendezés lényege a szenzorokból álló rács, amely megbízhatóan, néhány másodperc alatt kimutatja a cipőbe nem való anyagokat és tárgyakat, azonnal riasztva a biztonsági szolgálatot. A berendezést várhatóan 2019. végétől vezethetik be széles körben a nemzetközi repülőtereken.

<sup>5</sup> A gépi tanulás a Mesterséges Intelligencia egyik ága: Lényege, hogy a rendszer példaadatokat, minták alapján képes önállóan vagy emberi segítséggel szabályszerűségeket/szabályokat felismerni/meghatározni. A rendszer képes olyan általánosításra, amely alapján, a tanulási szakasz végeztével, ismeretlen adatokra vonatkozólag is „helyes” döntéseket tud hozni.



5. ábra

*A cipő levételét feleslegessé tevő, a rejtett robbanóanyagok, drogok néhány másodperc alatti biztonságos detektálását lehetővé tevő cipőszkenner [18]*

- „Mély zsebek” – *Sequestim Szkenner*: Egy másik cég, a Sequestim megoldása (lásd 6. ábra) jelentősen fel tudja gyorsítani a biztonsági kapukon való áthaladást. A mesterséges intelligenciát kombinálták a repülőtereken már használt utasszkennerekben lévő érzékelőkkel. Az új típusú érzékelő hűtése – 273°C hőmérsékleten növeli annak működési hatékonyságát, és lehetővé teszi az utasok szkennelését akár 8 méterről is. A rendszer megtanulja, hogy „mi néz ki normálisnak”, és képes lesz megbízhatóan megjelölni a gyanús tárgyakat.

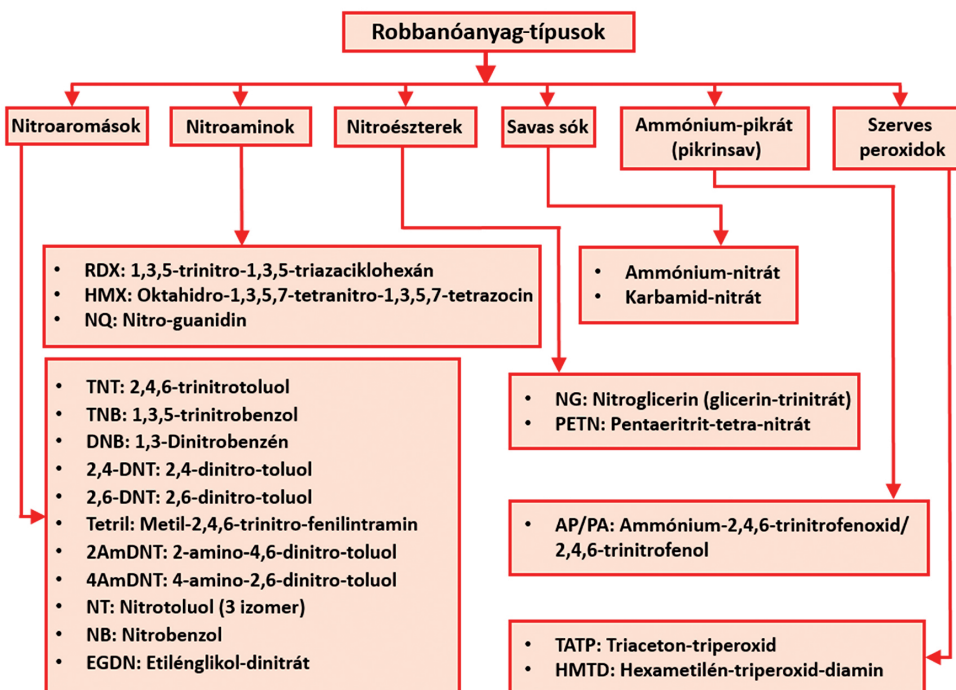


6. ábra

*A Sequestim-szkenner működés közben a Cardiff Nemzetközi Repülőtéren [18]*

## Hatékonyabb poggyász-átvilágítás a robbanóanyagok detektálásával

A robbanóanyagok nyomainak gyors, egyszerű és megbízható detektálása külső helyszíneken, nem laboratóriumi körülmények között évtizedek óta folyamatos kihívás a közbiztonság és a globális terrorizmus elleni küzdelemben, beleértve a légi közlekedést is. Az 7. ábra áttekintést ad a leggyakrabban alkalmazott robbanóanyagokról kémiai összetétel szerinti csoportosításban.



7. ábra

A legelterjedtebben használt robbanóanyagok csoportosítása kémiai összetétel szerint [19]

A robbanóanyagokat lehet alkalmazásuk szerint is osztályozni [5]:

- iniciáló vagy indító robbanóanyagok;
- brizáns vagy hevesen robbanó (helyi romboló, repesztő) robbanóanyagok;
- lőporok vagy hajtó robbanóanyagok;
- pirotechnikai összetételek (elegyek).

A rejtett robbanóanyagok nem laboratóriumi körülmények közötti detektálása érzékeny, speciális eszközöket igénylő feladat. A repülőtereknél a robbanóanyag-nyomok jelenlétének megbízható és költséghatékony érzékelése a cél, a vegyületek beazonosítása utólagos laboratóriumi vizsgálatokat igényel. A jelenlegi módszerek nem eléggé szelektívek és érzékenyek.

- *Ionmobilitás spektrometrián (IMS<sup>6</sup>) alapuló Bruker Detection DE-Tector*: A Bruker Detection DE-Tector műszere megbízhatóan mutatja ki a robbanóanyagok és kábítószerek nyomait az utasok ruházatán és használati tárgyain, ha azok kapcsolatba kerültek ilyen anyagokkal. Ha robbanóanyagokat észlelnek, akkor a műszer azonosítja a robbanóanyag típusát is. A berendezés, amely a 8. ábrán látható, legmagasabb érzékenységi és specifikációs szintet éri el anélkül, hogy a konkurens műszerekben található radioaktív forrást alkalmazná.



8. ábra

*A Bruker Detection DE-Tector rendszere az ionmobilitás-spektrometriás technológián alapul [20]*

- *A COBRA CT szkennert utóda a ConneCT*: A repülőtéri biztonsági szűrés következő generációjának egyik lehetséges megoldása a számítógépes tomográfia (CT) szkennelés, hasonlóan a kórházakban használt technológiához. Az Analogic cég forgalmazza a COBRA nevű CT-szkennert, amely 2006 óta érhető el, míg ennek utódja, a ConneCT elnevezés jelenleg a termékfejlesztés prototípus szakaszában van. A CT-technológiának az az előnye, hogy az utasoknak a laptopokat és a különböző folyadékokat nem kell elővenniük a kézipoggyászaikból, amikor elérik az ellenőrzőpontot, ami gyorsítja az áthaladást, hozzájárulva az „utasélmény” javításához. Ezenkívül a ConneCT felülmúlja a meglévő szkennelőberendezések felbontási képességét és érzékenységét, valamint lehetővé teszi a kezelők számára a 3D-képek forgatását, ami jelentősen megkönnyíti a gyanús tárgyak beazonosítását, óránként

<sup>6</sup> Az IMS alapelve: a mintaanyag molekuláit ionizálják sugárforrással vagy koronakisüléssel. Az ionok ezt követően egy elektromos téren keresztül áthaladnak különböző sebességgel, mielőtt elérik a detektort. Az elektromos mezőn való áthaladási idők alapján beazonosíthatók az egyes alkotóelemek. Az RDX, HMX, PETN, NTO és TNT detektálási határa körülbelül 1, 10, 40, 1000 és 1000 ng volt.

550 csomag/poggyász megbízható átvilágítása mellett. A 9. ábrán látható ConneCT tesztje az egyesült királyságbeli Lutoni Repülőtéren folyik. A Lutoni Repülőtér jelenleg egy, az utasok számára külön költség megfizetésével igénybe vehető úgynevezett prémium sávban alkalmazza a berendezést, amellyel kapcsolatban kedvező visszajelzések érkeztek az utasok felől.

- *A HI-SCAN 10080 XCT következő generációs, automatizált robbanóanyag-detektálás:* A Smiths Detection cég olyan termékeket fejleszt és gyárt, amelyek azonosítják a robbanóanyagokat, a vegyi és biológiai ágenseket, valamint a fegyvereket. Korszerű újításai közé tartozik a HI-SCAN 10080 XCT, a feladott poggyász újgenerációs automata robbanóanyag-észlelő rendszere<sup>7</sup>, amely kevesebb számú munkaállomás és kisebb operátori létszámmal is maradéktalanul eleget tud tenni a biztonsági követelményeknek.



9. ábra

*A ConneCT ellenőrzőpontjának biztonsági rendszere olyan újgenerációs CT-szűrőtechnikát használ, amely lehetővé teszi a magasabb észlelést és alacsonyabb hamis riasztási arányt [20]*

## A légi közlekedés belülről adódó fenyegetettségei [21], [22], [23], [24]

A repülőterek alkalmazottainak lehetőségük van *bennfentesként* az utasforgalom előtt elzárt területekre is bejutni, illetve a biztonsági eljárásokat kijátszani, kiszolgáltatva a repülőtér a terroristaveszélyeknek.

A *bennfentes* olyan személy, aki jogosulatlan célokra hasznosítja a munkakörében rejlő lehetőségeket vagy tudását. Biztonsági kockázatot jelentő repülőtéri munkakörök:

<sup>7</sup> A berendezés kombinálja a röntgenskenner és a 3D számítógépes tomográfia (CT) előnyeit. Képes óránként 1800 csomag átvilágítására, valamint a nagyobb méretű, 100 x 80 cm-es tárgyak kezelésére is.

- légitársaságok alkalmazottai;
- légiforgalmi irányítók;
- repülőgépek karbantartói;
- földi kiszolgálólétesítmények alkalmazottai (csomagkezelés, repülőtéri buszok/taxik vezetői, takarítók, biztonsági emberek, repülőtéri üzletek/éttermek alkalmazottai, egyéb létesítményüzemeltetők).

A bennfentes fenyegetések nagyon sokfélék lehetnek (az utasok csomagjainak fosztogatásától, a bizalmas információk illetéktelen harmadik félnek való kiszolgáltatásán, a biztonsági ellenőrzéseken való átjutás szándékos megkönnyítésén, szabotázsán, a korábban elbocsátott alkalmazottak szándékos károkozásán, a munkahelyi erőszakon át a terrorizmusig bezárólag).

Erre két példa:

- Valószínűleg az utóbbi idők egyik legismertebb brit terrorista bennfentes Rajib Karim. Karim a British Airways szoftvermérnöke volt, akit iszlám szélsőségesek beszerveztek, radikalizáltak, és azt tervezték, hogy bombát helyeznek a BA repülőgép fedélzetére. A terv idő előtt lelepleződött, és az illetőt 30 év börtönre ítélték terroristatevékenysége miatt.
- 2015. október 31-én az orosz Metrojet 9268-as járat a Sínai-félszigeten lezuhant, miután felszállt Sarm es-Sejkből, Egyiptomból. Egy italos dobozba rejtett bomba robbant a fedélzeten. Az Iszlám Államhoz tartozó csoport követte el a támadást, amely 224 embert ölt meg. A hatóságok gyanúja szerint a bombát a repülőtér egyik alkalmazottja juttatta fel a repülőgép fedélzetére még a felszállás előtt.

Az IATA által javasolt megoldások:

- Minden részletre kiterjedő toborzási és kiválasztási HR-technikák alkalmazása (a jelentkezőkre nézve a bűnügyi nyilvántartás, szakmai és magánéleti előzményeik áttekintésével).
- Repülőterek „zárt” területein dolgozó alkalmazottak rendszeres ellenőrzése, átvilágítása (a viselkedés vagy aggodalomra okot adó tevékenységek azonosítása).
- Átvilágítási és megakadályozási (spot and stop) intézkedések az életkörülményekben bekövetkező kedvezőtlen változások miatti sebezhetővé válás és a radikalizálódás elkerülésére.
- Megállító intézkedések: a bennfentesek lehetőségeinek és tudásának jogosulatlan célokra való felhasználásának megakadályozására, elriasztására vagy az érintett alkalmazottak eltávolítására.

Ez utóbbira ismét két példa a közelmúltból:

- 2015 novemberében a francia sajtó beszámolt arról, hogy a párizsi Charles de Gaulle repülőtéren azokat a munkavállalókat ellenőrizték a francia bűnüldöző hatóságok, akiknek jogosultságuk volt elzárt biztonsági területekre (RSA) is belépni. Az átvilágítás során a repülőtér érzékeny területein dolgozó több mint 70 alkalmazott biztonsági engedélyét visszavonták annak gyanúja alapján, hogy radikalizálódási folyamaton mentek keresztül, így komoly nemzetbiztonsági kockázatot jelentenek.

- A brüsszeli Zaventem repülőtéri rendőrség kiderítette, hogy az alkalmazottak közül legalább 50 fő az Iszlám Állam támogatójaként poggyászkezelőként, takarítóként és vendéglátósként dolgozik a repülőtéren, sőt többen rendelkeztek olyan jogosultságokkal is, amelyek lehetővé tették számukra a repülőgépekhez való közvetlen hozzáférést.

Az 5. táblázat a belső kockázatot jelentő viselkedési formákat és az erre utaló jeleket foglalja össze.

5. táblázat  
Kockázatot jelentő viselkedési formák [24]

<b>A légi közlekedési iparág alkalmazottainak belső kockázatokot rejtő viselkedési formái, valamint az ezek gyanújára utaló indikátorok</b>	
A korábbihoz képest jelentősen megváltozott külső.	Kézen és testfelszínén égésnyomok, a bőrfelszín kémiai fehéritése.
Ideges, titkolózó viselkedés, verejtékezés, szemkontaktus kerülése.	Hozzáférési pontok „látszólagos” és gyakori ellenőrzése.
A testbeszéd és a mozgás összhangban van a rejtett kamerával készülő felvételek készítésével.	Biztonsági kamerák kerülése.
Egyedüli vagy felügyelet nélküli munkavégzés nyomatékos követelése	Repülőtéri alkalmazottak egyenruhájába öltözött illetéktelen személyeknek a zárt területekre való bejutásának segítése.
Bizalmas információkkal való visszaélés.	Gyanús külföldi kapcsolatok (akár személyes, akár interneten vagy közösségi oldalakon keresztül), utazások.
Büntetett előélet.	A belső biztonsági utasítások folyamatos és következetes figyelmen kívül hagyása.
A munkaköréhez nem tartozó ügyek, területek biztonsági problémái iránti élénk érdeklődés.	Munkaidőn kívüli órákban való munkavégzés előzetes vezetői engedély nélkül.
Engedély nélküli adatszerzés.	A terrorizmus elleni küzdelemhez szükséges információk visszatartása vagy meghamisítása.
Erőszakos, fenyegető hangvételű munkahelyi kommunikáció.	A biztonsági pontokon való átjutást lehetővé tevő jelvények, azonosítók megszerzése és megosztása illetéktelen személyekkel.
Bűnözői csoportokkal való összejátszás.	Hirtelen és megmagyarázhatatlan anyagi jólét, tiltott dolgok rendszeres átjuttatása a biztonsági pontokon.

## Összefoglalás

A repülőterek üzemeltetőinek szorosan együtt kell működniük a különböző légitársaságokkal és a földi kiszolgálólétesítményeket üzemeltető cégek vezetőivel a megfelelő biztonsági szint kialakítása és fenntartása érdekében. Ennek akkor lehet eleget tenni, ha a légi közlekedés zavartalansága érdekében a biztonsági kockázatokat teljeskörűen beazonosítják, és ezek kiküszöbölésére, minimalizálására intézkedési/védelmi tervet dolgoznak ki és vezetnek be. A repülőtéri menedzsmentnek, biztonsági szakértők bevonásával, a döntések előkészítése során a kockázati tényezőket rangsorolnia kell aszerint, hogy mekkora a veszély bekövetkezésének valószínűsége, illetve a potenciális károkozási képessége. A kívülről és a belülről jövő terrorveszély minimalizálása érdekében bevezetett biztonsági eljárások és technikai megoldások, valamint a személyzet rendszeres továbbképzésébe fektetett költségek hosszabb távon

mindenképpen megtérülnek, hiszen légitársaságok mehetnek csődbe vagy repülőtereket kell bezárni bizalomvesztés miatt. (Például, ha egy terminálon vagy repülőgép fedélzetén bomba robban, és később kiderül, hogy nem megfelelő biztonsági átvizsgálás előzte meg a terminálokra való belépést vagy a repülőgép felszállását.) Az Ipar 4.0 és a digitalizációs trendek alapján az intelligens (smart), a mesterséges intelligencián (AI) alapuló újgenerációs módszerek és eszközök széles tárháza fog rendelkezésre állni a közeljövőben (korszerű biometrikus azonosítók és kamerák, továbbfejlesztett vagy új típusú szkennerek, összekapcsolt adatbázisok, platformok és hatékonyabb kommunikációs rendszerek). Ezek pontosabban, gyorsabban, megbízhatóbban és hatékonyabban szűrik ki a különböző kockázati tényezőket, egyidejűleg kevesebb kényelmetlenséget okozva az utasoknak.

Ugyanakkor fontos a biztonsági személyzet jogszerű, szakszerű és kulturált intézkedése, ellenőrző tevékenysége az utasokkal szemben (amelyre különböző szimulációs helyzetgyakorlatokkal, rendszeres továbbképzésekkel lehet felkészíteni őket), mivel ellenkező esetben az utasok vélt vagy valós sérelmeik orvoslása céljából hatóságokhoz, valamint a médiához fordulva, „kellemetlenségeket”, „utasvesztéseket” okozhatnak a repülőtéren.

## Hivatkozások

- [1] Air Transport Action Group, "Aviation Benefits beyond Borders" 2018, [Online]. Elérhető: [https://aviationbenefits.org/media/166344/abbb18\\_full-report\\_web.pdf](https://aviationbenefits.org/media/166344/abbb18_full-report_web.pdf) (Letöltve: 2019. 08. 10.)
- [2] A. Horváth, „A repülőterek és légirányítás, mint kritikus infrastruktúrák,” *Hadmérnök*, 4. évf. 4. sz. pp. 90–99. 2009.
- [3] J. Duchesneau and M. Langlois, "Airport attacks: The critical role airports can play in combatting terrorism," *Journal of Airport Management*, vol. 11, no. 4, 342–354, 2017.
- [4] E. Azani, L. A. Lvovsky and D. Haberfeld, *Trends in Aviation Terrorism*. International Institution for Counter-Terrorism (ICT), 2016.
- [5] V. Szabó, „Repülőtérsi biztonság fejlődés a repülőfedélzeten elkövetett robbantásos események tükrében,” Szakdolgozat, Nemzeti Közszerzői Egyetem, 2016, [Online]. Elérhető: [www.repulestudomany.hu/tdk/2016\\_Szabo\\_Vivien\\_SZD.pdf](http://www.repulestudomany.hu/tdk/2016_Szabo_Vivien_SZD.pdf) (Letöltve: 2019. 08. 12.)
- [6] Budapest Airport, „Repülőtér rendje,” 2019. [Online]. Elérhető: [www.bud.hu/file/documents/2/2957/ii\\_fejezet\\_beletes\\_a\\_repuloterre\\_2019\\_05\\_15.pdf](http://www.bud.hu/file/documents/2/2957/ii_fejezet_beletes_a_repuloterre_2019_05_15.pdf) (Letöltve: 2019. 08. 12.)
- [7] Budapest Airport, [Online]. Elérhető: [www.bud.hu/utazas/utazas\\_elott/poggyasz\\_es\\_biztonsagi\\_ellenorzes/utasbiztonsagi\\_ellenorzes](http://www.bud.hu/utazas/utazas_elott/poggyasz_es_biztonsagi_ellenorzes/utasbiztonsagi_ellenorzes) (Letöltve: 2019. 08. 12.)
- [8] Gy. Fialka, S. Kovács, A. Márton és M. Márton, *Létesítményvédelem*. Budapest: Nemzeti Közszerzői Egyetem, 2014.
- [9] I. Ernszt, „A nemzetközi légiközlekedés védelme című PhD értekezéshez,” Tézisek, 2007. [Online]. Elérhető: <http://ajk.pte.hu/files/file/doktori-iskola/ernszt-ildiko/ernszt-ildiko-vedes-tezisek.pdf> (Letöltve: 2019. 08. 10.)
- [10] R. Balogh, „A légiközlekedés biztonsági kihívásai és kockázatai, a velük szembeni terrortámadások elleni védelem követelményei és módszerei,” *Hadtudományi Szemle*, 10. évf. 3. sz. pp. 463–475. 2017.
- [11] J. Arasly, "Terrorism and Civil Aviation Security: Problems and Trends," *The Quarterly Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 75–89, 2005. DOI: <https://doi.org/10.11610/connections.04.1.05>

- [12] BBC News, "Istanbul Atatürk airport attack: 41 dead and more than 230 hurt," *BBC News*, 29 June 2016, [Online]. Elérhető: [www.bbc.com/news/world-europe-36658187](http://www.bbc.com/news/world-europe-36658187) (Letöltve: 2019. 08. 12.)
- [13] BBC News, "Brussels explosions: What we know about airport and metro attacks," *BBC News*, 9 April 2016, [Online]. Elérhető: [www.bbc.com/news/world-europe-35869985](http://www.bbc.com/news/world-europe-35869985) (Letöltve: 2019. 08. 12.)
- [14] „Repülőtéri megoldások,” *zandz.hu*, [Online]. Elérhető: <https://zandz.hu/megoldasaink/repuloteri-megoldasok/> (Letöltve: 2019. 08. 10.)
- [15] Safe Passage International, "Smart Security – The Next Generation of Security Checkpoints," 16 March 2018, [Online]. Elérhető: <http://blog.safe-passage.com/smart-security-the-next-generation-of-security-checkpoints> (Letöltve: 2019. 08. 12.)
- [16] „Terrorelhárítást szolgáló intelligens kamerarendszerek!,” *steve4security12.blog.hu*, [Online]. Elérhető: [https://steve4security12.blog.hu/2016/09/27/segithetnek-e\\_kamerarendszerek\\_a\\_terror\\_elharitasban](https://steve4security12.blog.hu/2016/09/27/segithetnek-e_kamerarendszerek_a_terror_elharitasban) (Letöltve: 2019. 08. 12.)
- [17] Computerworld, "Faception can allegedly tell if you're a terrorist just by analyzing your face," *Computerworld*, 25 May 2016, [Online]. Elérhető: [www.computerworld.com/article/3075339/faception-can-allegedly-tell-if-youre-a-terrorist-just-by-analyzing-your-face.html](http://www.computerworld.com/article/3075339/faception-can-allegedly-tell-if-youre-a-terrorist-just-by-analyzing-your-face.html) (Letöltve: 2018. 08. 13.)
- [18] BBC News, "Future of airport security on show in London," *BBC News*, 17 Jan. 2019, [Online]. Elérhető: [www.bbc.com/news/technology-46906935](http://www.bbc.com/news/technology-46906935) (Letöltve: 2019. 08. 12.)
- [19] W. Zhang, Y. Tang, A. Shi, L. Bao, Y. Shen, R. Shen, and Y. Ye, "Recent Developments in Spectroscopic Techniques for the Detection of Explosives," *Materials*, vol. 11, no. 8, p. 1364, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma11081364>
- [20] Airport Business, "Streamlining security: Next generation screening and detection," *Airport Business*, 27 Nov. 2013, [Online]. Elérhető: [www.airport-business.com/2013/11/streamlining-security-next-generation-screening-and-detection/](http://www.airport-business.com/2013/11/streamlining-security-next-generation-screening-and-detection/) (Letöltve: 2019. 08. 12.)
- [21] The Conversation, "Airport security threats: combating the enemy within," *The Conversation*, 15 Nov. 2018, [Online]. Elérhető: <https://theconversation.com/airport-security-threats-combating-the-enemy-within-106271> (Letöltve: 2019. 08. 12.)
- [22] IATA: Insider Threat-Effective August 2015-Version 2 (June 2018)
- [23] IATA: Security System Management (SeMS) Manual 2nd Edition 2019. IATA-kód: 9329-02
- [24] "Aviation Insider Threat: What We Know, Our Findings, and What We Recommend," The public-private analytic exchange program, 2017, *dni.gov*, [Online]. Elérhető: [www.dni.gov/files/PE/Documents/4--2017-AEP\\_Aviation-Insider-Paper.pdf](http://www.dni.gov/files/PE/Documents/4--2017-AEP_Aviation-Insider-Paper.pdf) (Letöltve: 2019. 08. 12.)

## SMART SECURITY SOLUTIONS FOR EFFECTIVE REDUCTION OF FUTURE TERRORIST THREATS AT INTERNATIONAL AIRPORTS

*The airline industry has grown to become a global sector today to link countries and continents quickly and easily. Due to its economic, social importance and impact, aviation is one of the preferred targets of terrorism. Meanwhile, security practices related to aircraft security and surveillance have been strengthened by lessons learned from terrorist attacks of recent decades, impeding access to the aircraft for the potential future terrorists, the majority of ground infrastructures*

at international airports are open for passenger traffic. It is essential that the next generation of smart security solutions based on Artificial Intelligence (AI) be implemented as soon as possible, filtering out different risk factors more accurately, faster and in a more reliable manner. At the same time, the legal, professional and cultured actions of the security staff against the passengers are also important, for which they can be trained by various simulation situation exercises and regular in-service training.

**Keywords:** airport security, airport ground infrastructure, terror attacks, smart security tools and methods, internal risks

---

Venczel Márk MSc  
doktoranduszhallgató  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszék  
mvenczel@vrht.bme.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-4319-1463>

Márk Venczel MSc  
PhD Student  
Budapest University of Technology and Economics  
Department of Aeronautics Naval Architecture and  
Railway Vehicles  
mvenczel@vrht.bme.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-4319-1463>

---

Dr. Peredy Zoltán  
intézetvezető  
Edutus Egyetem  
Műszaki Intézet  
peredy.zoltan@edutus.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-4074-8430>

Dr. Zoltán Peredy  
Head of Engineering Institute  
Edutus University  
Engineering Institute  
peredy.zoltan@edutus.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-4074-8430>

---

Dr. Rohács Dániel PhD  
egyetemi docens  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszék  
drohacs@vrht.bme.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-4629-4417>

Dániel Rohács PhD  
Associate Professor  
Budapest University of Technology and Economics  
Department of Aeronautics Naval Architecture and  
Railway Vehicles  
drohacs@vrht.bme.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-4629-4417>

---

Dr. Rohács József CSc  
egyetemi tanár  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszék  
jrohacs@vrht.bme.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-4607-9063>

József Rohács CSc  
Professor  
Budapest University of Technology and Economics  
Department of Aeronautics Naval Architecture and  
Railway Vehicles  
jrohacs@vrht.bme.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-4607-9063>

---

Jelen publikáció az EFOP-3.6.1-16-2016-00014 pályázat támogatásával készült, amelynek címe „Diszruptív technológiák kutatás-fejlesztése az e-mobility területén és integrálásuk a mérnökképzésbe”.



VÁKÁT OLDAL

