



# REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

## Kiemelt közlemények

### **RIPSZÁM DÓRA:**

*A pilóta nélküli légi járművek jogszerű  
használatához kapcsolódó büntetőjogi felelősség*

### **MIHÁLYI GÉZA:**

*Az UAV-pályatervezés kihívásai és lehetséges  
megoldásai*

### **KARDOS KRISZTINA:**

*Kitekintés a nemzetközi drónszabályozás világába*

35. évf. (2023)  
3. szám

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



**LUDOVIKA**  
EGYETEMI KIADÓ

## Repüléstudományi Közlemények

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar tudományos kiadványa

Elektronikus kiadás  
HU ISSN 1789-770X

Nyomtatott kiadás  
HU ISSN 1417-0604

## A szerkesztőbizottság elnöke

Prof. Dr. Óvári Gyula (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

## A szerkesztőbizottság tagjai

Dr. Békési Bertold (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)  
Dr. Dudás Zoltán (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)  
Dr. Dunai Pál (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)  
Dr. Kavas László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)  
Dr. Károly Krisztián (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)  
Dr. Major Gábor (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)  
Prof. Dr. Makkay Imre (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)  
Dr. Palik Mátyás (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)  
Prof. Dr. Pokorádi László (Óbudai Egyetem)  
Dr.h.c. doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD, MBA, LL.M (Kassai Műszaki Egyetem, Szlovákia)  
Prof. Dr. Szabolcsi Róbert (Óbudai Egyetem)  
Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)  
Dr. Vas Tímea (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

## Szerkesztőség

Dr. Békési Bertold (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) főszerkesztő  
Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) szerkesztő  
Törőcsik Tímea (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) szerkesztőségi titkár

Szerkesztőség címe: 5008 Szolnok, Kilián út 1.

Levelezési címe: 5008 Szolnok, Pf. 1.

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

## Kiadó

Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Ludovika Egyetemi Kiadó  
1083 Budapest, Ludovika tér 2.  
[kiadvanyok@uni-nke.hu](mailto:kiadvanyok@uni-nke.hu), +36 1 432 9000  
A kiadásért felel: Deli Gergely rektor

**Borítókép:** Kővári László †



## Tartalom

JANKOVICS ISTVÁN, SZILÁGYI DÁVID, SZIROCZÁK DÁVID, FENDRIK ÁRMIN: UAV-sárkány és légcsvár együttműködésének vizsgálata . . . . .	5
DÉNES SZILÁGYI: Determination of Ultralight Helicopter Test Loads . . . . .	21
RIPSZÁM DÓRA: A pilóta nélküli légi járművek jogszerű használatához kapcsolódó büntetőjogi felelősség . . . . .	43
MIHÁLYI GÉZA: Az UAV-pályatervezés kihívásai és lehetséges megoldásai . . . . .	51
SÁNDOR ZSOLT: Pilóta nélküli légi járművek látótávolságon belüli és azon túli üzemeltetésének kihívásai . . . . .	69
SÁNDOR SZABÓ, MICHAEL BODÓ, JÓZSEF NAGY-BOZSÓKY, ISTVÁN PINTÉR, MIHÁLY BAGÁNY, SZILVIA KORA, PÁL DUNAI: Physiological Challenges of Space Travel and Ground-Based Simulation Possibilities for Monitoring Brain Circulatory Changes: A Rheoencephalography Study . . . . .	79
ZSOLT ISTVÁN FALTIN, KÁROLY TAMÁS BENEDA: Improvement of a Centrifugal Compressor Test Bench to Incorporate Variable Impeller-Inducer Bleed Air System as an Active Surge Control . . . . .	103
LUCZ ZSOLT: AS-350B könnyű-többcélú helikopter a Magyar Légierőben . . . . .	117
KARDOS KRISZTINA: Kitekintés a nemzetközi drónszabályozás világába . . . . .	125
TÍMEA VAS, KRISZTIÁN KÁROLY, SZABOLCS ZSEMBERY, GÁBOR HORVÁTH: Comprehensive Study of Military and Civil Drone Applications: Assessing Key Areas of Significance and Future Prospects . . . . .	149
VIKTÓRIA BENE, ZOLTÁN KRISTÓF, BARBARA ELEK: The DJI Dock 2 is a "Drone in a Box" to Enhance the Unmanned Guard Solution – Scientific Research with the Cooperation of Duplitech Ltd. . . . .	171



Jankovics István, Szilágyi Dávid, Sziroczák Dávid,  
Fendrik Ármin

## UAV-sárkány és légcsvavar együttműködésének vizsgálata

*Ebben a cikkben az Innovatív és újszerű megoldásokra épülő többcélú merevszárnyú drón és a fejlesztéséhez szükséges kompetenciák létrehozása projekt keretében a feladatunk egy pilóta nélküli merevszárnyú repülőgépre szerelt propulziós rendszer vizsgálata volt. A vizsgálatot a szélcsatornamérés eredményeinek kiértékelésével kezdtük. A mérési adatokból meghatároztuk a repülőgépre szerelt hajtásrendszer karakterisztikus görbéit. Megbecsültük a repülőgép aerodinamikai jellemzőit XFLR5 program segítségével. Az eredményekből meghatároztuk a légcsvavar üzemállapotait vízszintes repülésben. Megállapítottuk, hogy a légcsvavar illesztése átesési sebéségen megfelelő, utazó sebéségen azonban elmarad az optimálistól.*

**Kulcsszavak:** UAV, aerodinamika, propulzió, légcsvavar, mérés, XFLR5

### 1. Bevezetés

A kisebb méretű pilóta nélküli repülőgépek esetében a motor és légcsvavar kiválasztása általában a repülőgép építőjének sokéves szakmai tapasztalata, rutinja alapján történik meg. Ebben a kiválasztásban segíthetik a tapasztalt és a tapasztalatlan felhasználókat a motorgyártó javaslatai, az interneten fellelhető különböző oldalak által nyújtott segítségek, kalkulátorok, táblázatok és diagramok, amelyek javaslatot tesznek, hogy milyen motorhoz milyen átmérőjű és milyen emelkedésű légcsvavar használható. Az ilyen módon történő légcsvavarillesztéssel elkerülhető, hogy a motor károsodjon. Az illesztés sikerességéről a felhasználók általában csak szubjektív módon győződhetnek meg – például a berepülés során szerzett tapasztalatokból, illetve azok korábbi tapasztalattal történő összevetéséből, esetleg érzésből, tehát az elvárásoknak megfelelően teljesített-e a repülőgép –, és ritkán mérési eredmények alapján.

Az ilyen légcsvavarillesztési eljárások nem veszik figyelembe, hogy a légcsvavar olyan környezetben dolgozik, ahol a légcsvavar mögött vagy a légcsvavar előtt egy test helyezkedik el. A test hatására a légcsvavar áramlási viszonyai és így hatásfoka is megváltozik.

Elektromos hajtáslánc esetén a jelenleg rendelkezésre álló akkumulátortechnológiák által biztosított akkumulátorkapacitás és akkumulátortömeg viszonya által meghatározott energiasűrűség kicsi, ezért az ilyen hajtáslánccal szerelt repülőgépek általában kisebb repülési

idővel és hatótávolsággal rendelkeznek, mint a belső égésű motoros társaik, ami erősen korlátozza a felhasználhatóságukat, noha kialakításuk, üzemeltetésük egyszerűbb és tisztább.

Ezért elektromos hajtással szerelt UAV-ok esetén különösen fontos tényező a repülőgép sárkányának és alkalmazott légcsavarijának adott feladatra optimalizált együttműködése, ami kiemelhet egy konstrukciót a versenytársai köréből.

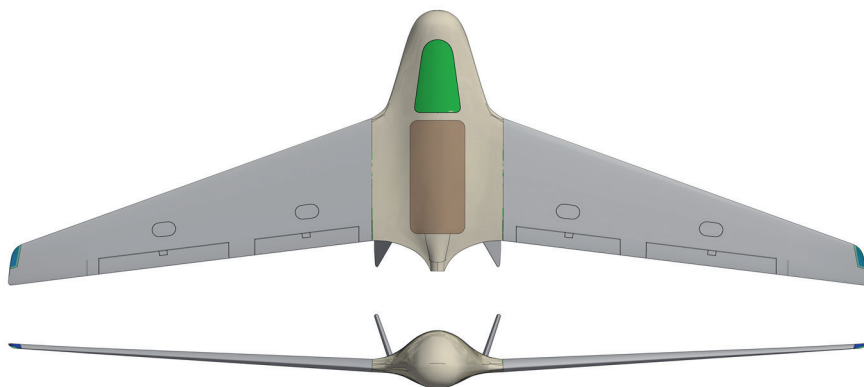
*Az Innovatív és újszerű megoldásokra épülő többcélú merevszárnyú drón és a fejlesztéséhez szükséges kompetenciák létrehozása* című projektben feladatunk volt a fejlesztett pilóta nélküli légi jármű működésének vizsgálata mérésrel. Az elvégzett mérések között szerepelt a légcsvár működésének vizsgálata is, amelyhez az adatokat szélcsatornában végrehajtott mérésorozattól nyertük.

## 2. A repülőgép- és szélcsatornamérési adatok és tapasztalatok

A szélcsatornaméréseket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Karának Áramlástan Tanszékén, a Kármán Tódor Szélcsatorna Laboratóriumban található nagy, vízszintes szélcsatornában hajtottuk végre az Áramlástan Tanszék és a Mould Tech Mérnöki Iroda Kft. munkatársai által.

A mért repülőgép csupaszárny elrendezésű, toló légcsvarral szerelt UAV (1. ábra). A repülőgép fesztávolsága 3,3 m, a hosszúsága 1,1 m. Maximális felszállótömege 20 kg. A mérés során használt hajtásrendszer:

- 8S akkumulátorpakkok: 34,8 V, 1,415 kg/db, 297 Wh/kg, 12 Ah, min SOC: 30%;
- Plettenberg Dinator 30/4 Gear BLDC motor: 0,425 kg, 1900 W, 10 000 max RPM;
- Propeller: 18 × 10 Graupner CAM Folding.



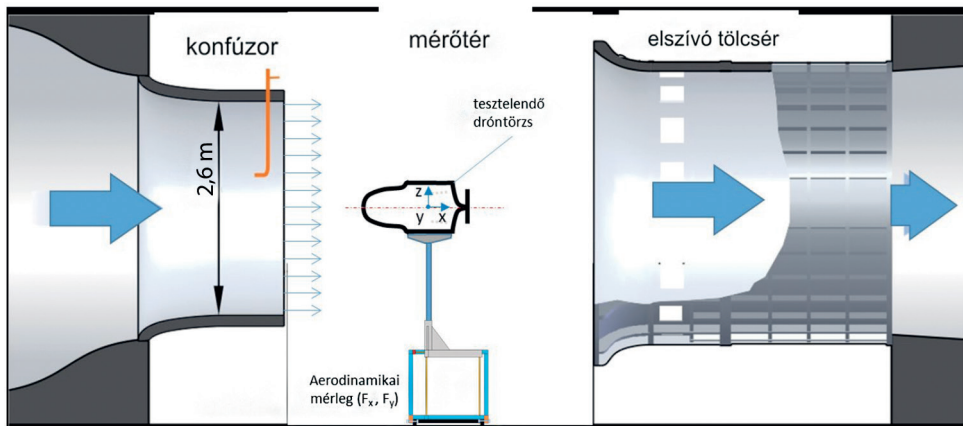
1. ábra  
A vizsgált UAV [Mould Tech]

A szélcsatorna mérőterének átmérője 2,6 m, ezért a mérés során a repülőgépet szárnyak nélkül helyezték a mérőterbe. A mérést 0–25 m/s légsebesség-tartományban felvett 7 sebességértéken (0, 5, 9, 12, 15, 20, 25 m/s) és 0–8500 fordulat/s tartományban felvett 9 fordulatszámértéken (0, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8500 ford/min)

tervezték végrehajtani, ami összesen 63 kombinációt jelent. A méréseket növekvő és csökkenő légsebesség-beállítási értékekre végezték el.

A kapott információk alapján a mérés során a repülőgépre szerelt motor és akkumulátor páros nem volt képes meghajtani a légsavart a maximális 8500 ford/min-es fordulatszám, ezért a mérőszorozatot 7000 ford/min értékig, vagy a maximálisan elérhető fordulatszámig végezték el, ha a motor nem volt képes elérni a 7000 ford/min-es értéket sem.

A tervezett mérési kombinációk számát tovább csökkentette az a tény, hogy a repülőgép folding típusú légsavarral volt felszerelve, ami forgás közben a légsavartollakon ébredő centrifugális erő hatására nyílik ki és veszi fel normális üzemi helyzetét. Kis fordulatszám, elegendően nagy légsebesség esetén, azaz nagy előrehaladási fokoknál a légsavartollakon ébredő negatív vonóerő (ellenállás) a centrifugális erő ellen dolgozik és elegendően nagy ahhoz, hogy a tollak becsukódjanak, vagy ne nyíljanak ki. Míg 5 és 9 m/s-os légsebesség esetén a légsavár kinyílt teljesen az 1000 ford/min fordulatszám, 25 m/s-es sebességnél már 4000 ford/min-nél nagyobb fordulatszámra volt szükség a teljes kinyíláshoz.



2. ábra

A mérési elrendezés vázlatja [dróntörzs aerodinamikai jellemzőinek szélcsatorna-tesztelése, jelentés BME Áramlástan Tanszék]

A drónon ébredő erőket a 2. ábrán látható módon erre a célra kialakított kalibrált 2-komponensű aerodinamikai mérleggel végezték x és y irányban. X irány az aerodinamikai ellenállás és tolóerő irányával párhuzamos, y a repülőgépen ébredő, a megfűvási irányra merőlegesen ébredő felhajtóerővel párhuzamos. A mérőrendszer kialakítása fix, a repülőgépet 0°-os állásszögön tartotta, az állásszög megváltoztatására nem volt lehetőség. Az ébredő erőket x irányban 2 db, y irányban 1 db erőmérő cellákkal mérték. A mért erőértékek mellett rögzített volt a légáramsebesség, a légsavár fordulatszáma, az akkumulátorfeszültség és a felvett áram.

### 3. Aerodinamikai vizsgálat

A légsavár és a sárkány együttműködésének vizsgálatához vízszintes repülésben meg kellett határozni a repülőgép polárisát, azaz a felhajtóerő-tényező és ellenállás-tényező diagramot.

A poláris meghatározását XFLR5<sup>1</sup> nevű ingyenes szoftver segítségével végeztük el. A program alkalmas a repülőgép indukált ellenállás-tényezőinek és bizonyos állásszögtartományon belül a test ellenállás-tényezőinek meghatározására, azaz a sűrűdési és az alaki ellenállás-tényezőinek közelítő meghatározására.

Az állandó repülési sebességgel végrehajtott vízszintes repüléshez a számítás során az alábbi 2 feltételt kell kielégíteni [3]:

- A repülőgépen ébredő erők eredője zérus, azaz a felhajtóerő (L) megegyezik a súlyerővel (W), és az ellenálláserő (D) megegyezik a tolóerővel (T).
- A repülőgépen keletkező nyomatékok – hossz- és keresztirányú – összege zérus, azaz  $\sum M=0$ .

A repülőgép nem rendelkezik a függőleges tengely körül ébredő nyomatékok kiegyenlítésére alkalmas oldalkormány-felülettel. Ennek eredményeként a légcsavaron a motorteljesítménytől, állásszögtől és repülési sebességtől függő függőleges tengely körüli nyomatékok hatására a repülőgép változó mértékű csúszással kompenzál repülés közben. A repülőgép statikai keresztstabilitása miatt, csúszási szöggel végrehajtott repülés során és a motor tengelyén jelentkező reakciónyomaték miatt, hossz tengely körüli orsózó nyomaték is jelentkezik. Az orsózó nyomaték kompenzálására a repülőgép változó mértékben kitérített csűrőkormánnyal hajtja végre a repülést, ami a felhajtóerő és az ellenálláserő aszimmetrikus eloszlását eredményezi.

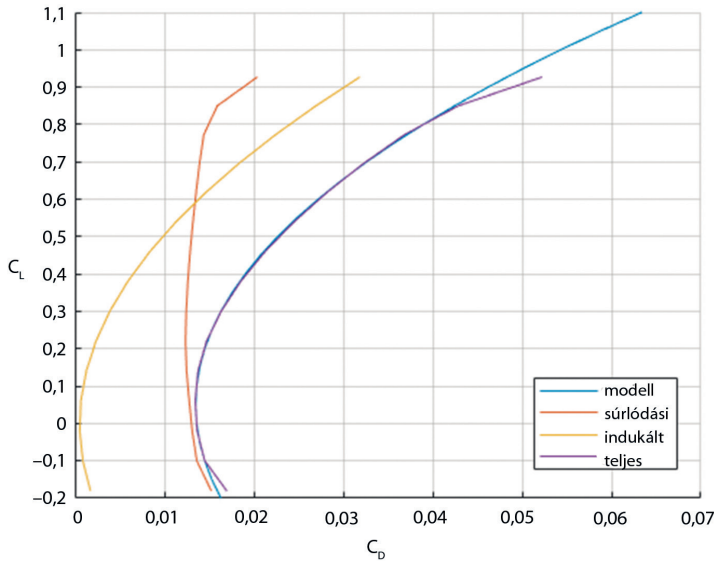
A szélcsatornamérésekhez alkalmazott mérőberendezés nem tette lehetővé a légcsavaron ébredő nyomatékok mérését, ezért a vizsgálat során a nyomatékok tekintetében a keresztirányú, azaz a függőleges és a hossz tengely körül ébredő összes nyomatékokot – aerodinamikai és propulziós – zérusnak tekintettük, míg a kereszt tengely körüli, azaz a hosszirányú nyomatékok közül csak a légcsvavar által létrehozott propulziós nyomatékokat tekintettük zérusnak.

A fenti egyszerűsítéseket követően a vízszintes repülés feltételét az erőegyensúlyon túl a hosszirányú aerodinamikai nyomatéki egyensúly magasságikormány-kitérésével érjük el.

A vizsgálatához a CAD-tervek alapján létrehoztuk a repülőgép egyedi szárnyprofiljait leíró ponthalmazt, majd ezek segítségével felépítettük a repülőgép 3 dimenziós modelljét az XFLR5 programban. A vizsgálatot a nyomatéki egyensúly teljesítéséhez különböző magasságikormánylap-kitéréssekkel kellett végrehajtani, ezért a CAD-rajzok alapján meghatároztuk a kormánylapok relatív húrhosszait, és az XFLR5 beépített kormánylapfunkciójának segítségével elvégeztük a kormánylap-kitérésnek megfelelő szárnyprofil-módosítást.

Az XFLR5-be integrált Xfoil segítségével végrehajtottuk a szárnyprofilok 2D-elemzését. A program korlátozottan alkalmas a levélások számítására, nagy állásszögön gyakran nem konvergál a számítás, de konvergens eredmények, és jelentős bizonytalansággal terheltek. Azonban az eredményeket látva arra a következtetésre jutottunk, hogy a repülőgép egyedi, körülbelül 10% vastagságú, S-középvonalú profiljának maximális felhajtóerő-tényezője 1,1 körüli értéket vesz fel. A 3 dimenziós, véges szárnyal rendelkező repülőgép teljes maximális felhajtóerő-tényezője ennél kisebb értéket eredményez, különösen a nagy állásszögeken a nyomatéki egyensúly érdekében húzott irányban kitérített magassági kormányhelyzet esetén.

<sup>1</sup> Lásd: [www.xflr5.tech/xflr5.htm](http://www.xflr5.tech/xflr5.htm)



3. ábra

A repülőgép polárja és ellenállás-komponensei  $0^\circ$ -os kormánykitérés esetén. A kék színű görbe az indukált ellenállás (sárga) és a súrlódási ellenállás (barna) értékekre illesztett görbék eredőjeként adódó polár [a szerzők]

Az XFLR5 program a 3 dimenziós repülőgép vizsgálatára több módszert is kínál. Ilyenek az LLT- (Lifting Line Theory), két VLM-módszer (Vortex Lattice Method) és 3D Panel módszer. Az LLT kivételével mindegyik módszer kínál határréteg- és így viszkozusellenállás-számítást. Azonban ezek a módszerek kitérített kormánylapok esetén nem adtak konvergens eredményt, így használhatatlannak bizonyultak, csak az indukált ellenállás és a hosszirányú aerodinamikai nyomatók meghatározására voltak használhatók.

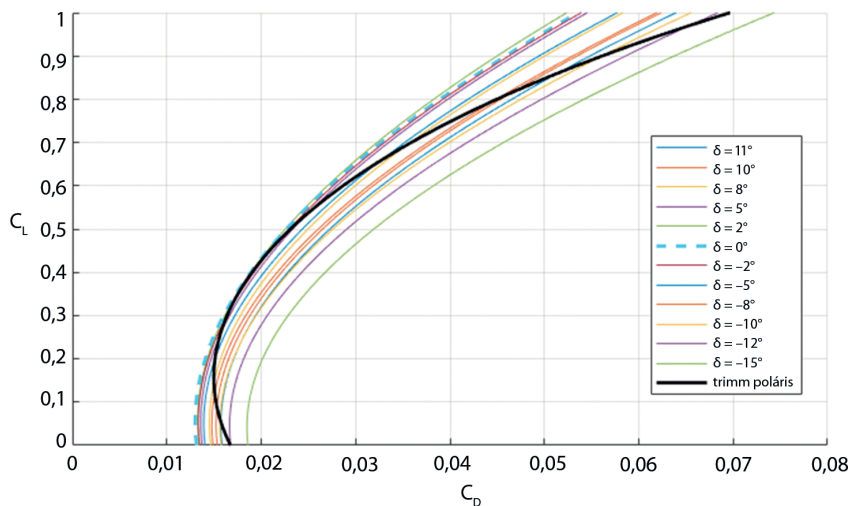
A repülőgép testellenállását széles állásszögtartományban csak  $0^\circ$ -os kormánylaphelyzet esetén lehetett meghatározni. A számítás eredményét ellenállás-komponensekre bontva a 3. ábra mutatja be.

A súrlódási ellenállás-tényező – felhajtóerőtényező-értékekre kézzel görbét illesztettünk (1), ami a súrlódási ellenállás esetén a -0,2 és 0,78-as felhajtóerő-tényező közötti tartományon megfelelő pontossággal illeszkedett az eredményekre.

$$C_{D_p} = C_{D_{v_{min}}} + \frac{(c_{L_d} - c_L)^2}{\pi \cdot e_2} + \frac{(c_{L_d} - c_L)^3}{\pi \cdot e_3} + \frac{(c_{L_d} - c_L)^4}{\pi \cdot e_4} \quad (1)$$

Ezt a súrlódási ellenállástényező-függvényt alkalmaztuk a kitérített kormánylapos vizsgálatok esetén is.

A kitérített kormánylapos vizsgálatok során a fent említett okok miatt csak viszkozitás nélküli ellenállás-számítást végeztünk. A nyomatóki egyensúlyt adó állásszög és felhajtóerőtényező értékét befolyásolja a súlyponthelyzet. A számítások során a repülőgép gyártója által megadott, a tesztrepülések során használt súlyponthelyzetet vettük figyelembe. Az eredményeket a 4. ábra mutatja be.



4. ábra

A repülőgép polárisai különböző magasságikormány-lap kitérési szögek esetén. A fekete színű vastag vonal a trimmhelyzethez tartozó aerodinamikai poláris [a szerzők]

A kapott polárisok 1-1 pontja elégíti csak ki a vízszintes repülés nyomatékai feltételét ( $c_m = 0$ ). Ezekhez a trimmhelyzetekhez tartozó  $c_L - c_D$  értékpárokat összekötő görbe adja a repülőgép trimmpolárisát. A nyomatékai egyensúlyt kielégítő pontokra kézzel görbét illesztettünk (2).

$$C_{D_i} = C_{D_{i_{min}}} + \frac{(c_{L_1} - c_L)^2}{\pi \cdot AR \cdot a_1} + \frac{(c_{L_2} - c_L)^4}{\pi \cdot AR \cdot a_2} \quad (2)$$

1. táblázat

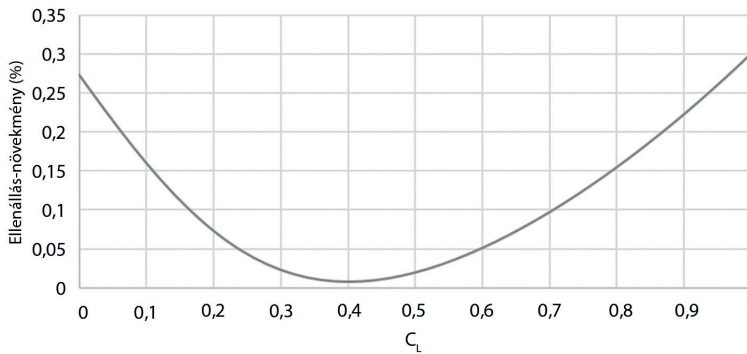
Az illesztett trimmpoláris paraméterei [a szerzők]

$C_{D_{i_{min}}}$	0,01237
$C_{L_d}$	0,22
$e_2$	30
$e_3$	50
$e_4$	$5 \cdot 10^6$
$C_{D_{i_{min}}}$	0,00256
$AR$	8,477634
$C_{L_1}$	0,145
$a_2$	0,65
$c_{L_2}$	0,189
$a_2$	1,79

A repülőgép polárisát kiegyenlített vízszintes repülésben a (3) egyenlet segítségével határoztuk meg és ábrázoltuk (4. ábra).

$$c_D = c_{D_p} + c_{D_i} \quad (3)$$

A 4. ábrán a fekete színű vastag folytonos vonal mutatja a repülőgép trimmpolárisát, a kék színű vastag szaggatott vonal a  $0^\circ$ -os kormánykitéréshez tartozó polárist. A két görbe közötti eltérés a repülőgép kiegyenlítéséből adódó trimmveszteség, ami a csupaszárny-kialakítás miatt különösen nagy állásszögek esetén jelentős ellenállás-növekedést jelent a vizsgált súlyponthelyzettel. (5. ábra).



5. ábra

Trimmveszteség miatti ellenállás-növekmény a  $0^\circ$ -os kormánykitéréshez képest [a szerzők]

## 4. Légcsavarmérési eredmények analízise

A szélcsatornában történt mérések analízisének célja a légcsavarok üzemi jellemzőinek leírására használt dimenziótlan jellemzők meghatározása és ábrázolása a mért értékek segítségével.

A repülőgép sárkányszerkezetével összerakott hajtásrendszer esetén a szélcsatornában mért  $x$  irányú erőértékek tartalmazzák a repülőgép ellenállását, a légcsavar által létrehozott vonóerőt és az úgynevezett installációs veszteségeket. A szélcsatorna-mérési sorozatban külön mértük a sárkányszerkezet ellenállását is álló légcsavar mellett. Mivel álló állapotban az ébredő légerő hatására a légcsavartollak hátrahajlanak, ezzel közel 0-ra csökkentve a légcsavar ellenállását, a mért ellenállásértékeket tisztán a törzs ellenállásának tekintettük ( $F_{x_{n=0,V}}$ ). A törzs mért ellenállásának értékéből kivonva a forgó légcsavar mellett mért ellenállásértékeket, kapjuk meg a légcsavar effektív vonóerejét, ami tartalmazza a légcsavar vonóerejét és az installációs veszteségeket is [1], [2]. A légcsavarok vonó-, illetve tolóerejének dimenziótlan jellemzésére szolgál a vonóerő-tényező (4):

$$C_T = \frac{F_{x_{n=0,V}} - F_{x_V}}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \quad (4)$$

Ahol  $\rho$  a levegő sűrűsége,  $n$  a légcsavar fordulatszáma,  $D$  a légcsavar átmérője teljesen nyitott állapotban.

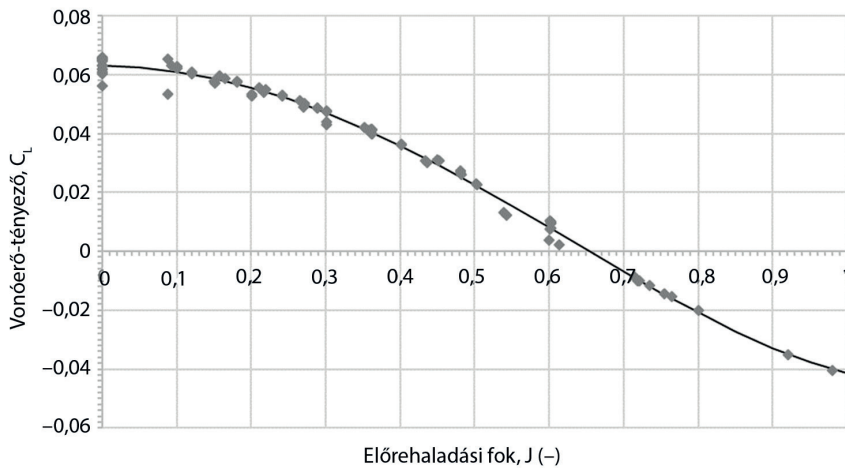
Az előrehaladási sebesség és a fordulatszám viszonyából adódó effektív megfúvási irányt jellemzi az előrehaladási fok (5).

$$J = \frac{v}{n \cdot D} \quad (5)$$

A különböző repülési sebesség és fordulatszám párosokhoz számított vonóerő-tényezőket az előrehaladási fok függvényében ábrázolja a 6. ábra.

Az együttműködéssel kapcsolatos számítások érdekében a kapott ponthalmazra negyedfokú polinomot illesztettünk (6).

$$c_T = 0,063 - 0,0023 \cdot J - 0,1765 \cdot J^2 + 0,0047 \cdot J^3 + 0,0698 \cdot J^4 \quad (6)$$



6. ábra

Légcsavarméréssel meghatározott vonóerő-tényező előrehaladási fok görbéje és az illesztett polinom [a szerzők]

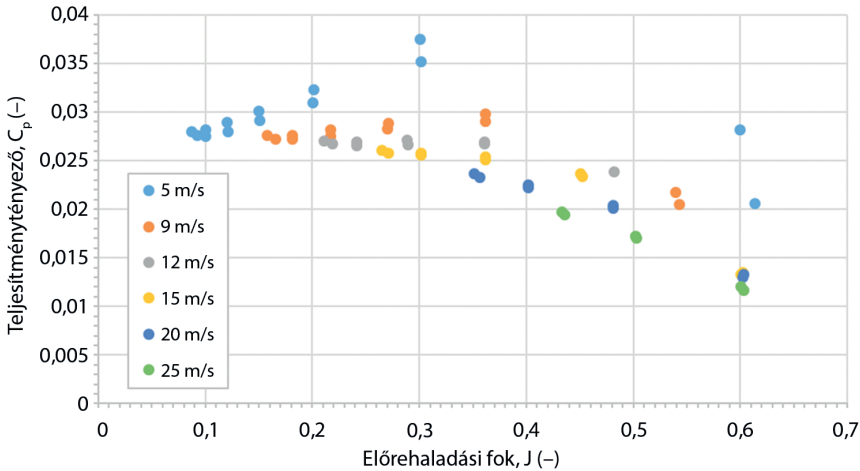
Légcsavarok tesztjei során a légcsavar hajtására fordított teljesítményt tengelyteljesítményként szokás megadni, és meghatározása a légcsavart hajtó tengely fordulatszámának és a légcsavar forgatásához szükséges nyomaték segítségével történik. A mérési kísérlet során kialakított rendszerben a tengelyteljesítmény meghatározására nem volt lehetőség.

A tengelyteljesítmény hiányában az akkumulátorfeszültség és az áramfelvétel alapján közelítettük a légcsavar hajtására felhasznált teljesítményt. A mérőberendezés pontos kapcsolása a kiértékeléskor nem ismert, ahogy az sem, hogy az adatrögzítésre is használt rendszer milyen pontossággal rögzíti azt. A felhasznált elektromos teljesítményt mint bevezetett teljesítményt az áramerősség és a feszültség szorzataként határoztuk meg.

A számított adatokból elvégeztük a jellemzők dimenzióatlanítását [1], [2], és ábrázoltuk az eredményeket a teljesítménytényező – előrehaladási fok diagramon (7. ábra).

$$C_P = \frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot D^5} \quad (7)$$

A számított teljesítménytényező-értékeket a megfúvási sebesség szerint színezve ábrázoltuk. Megfigyelhető, hogy a kapott eredmények sebességenként elkülönülnek, több különálló görbe rajzolódik ki, és nem rendeződnek egy görbére, mint az a nagyméretű állandó beállítási szögű légcsvarek jellemzője [2]. Ennek okának kiderítése nem képezte az elemzés célját, de egyik lehetséges ok a légcsvartollak kis mérete miatti alacsony Reynolds-szám tartománya, amelyben az aerodinamikai jellemzők jelentősen változnak a Reynolds-szám változásával.



7. ábra

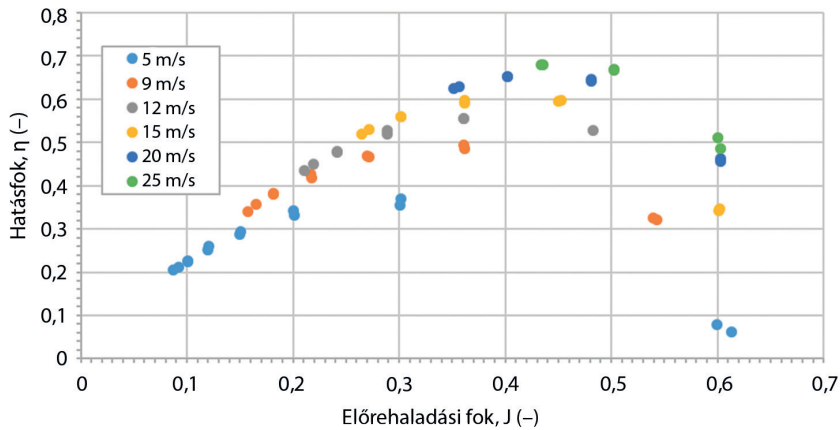
A méréssel meghatározott teljesítménytényező – előrehaladási fok értékek [a szerzők]

A sárkány és légcsvarek együttműködés pontosabb elemzéséhez meghatároztuk a hatásfokot az előrehaladási fok függvényében (8).

$$\eta = \frac{c_T}{c_P} \cdot J \quad (8)$$

Mivel a hatásfok számításánál is felhasználtuk a teljesítményértékeket, amit az akkumulátorból felvett elektromos teljesítményből határoztunk meg, az eredmények a teljes elektromos rendszer hatásfokát és nem tisztán a légcsvarek hatásfokát jellemzik.

A hatásfokgörbénél is megfigyelhető, hogy azok a sebességek szerint elkülönülnek, és több különálló görbét rajzolnak ki (8. ábra).



8. ábra

A méréssel meghatározott hatásfok – előrehaladási fok értékek [a szerzők]

## 5. Légcsavar és repülőgép együttműködésének vizsgálata

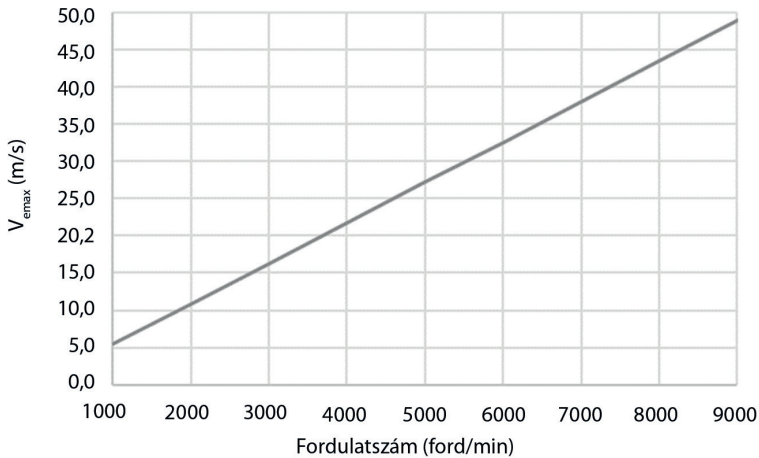
A kutatási feladat célja a légcsavar és sárkány együttműködésének vizsgálata volt, ahol arra kerestük a választ, hogy milyen üzemállapotban dolgozik együtt a légcsavar a repülőgéppel, milyen hatásfok realizálódik vízszintes repülés közben, és milyen utazó sebességek érhetők el.

A repülőgép kezdeti tesztrepülései során az alkalmazott sebességmérő rendszer nem, vagy nem megfelelően került kalibrálásra, így az abból nyert sebességadatokról az utólagos értékelések során kiderült, hogy hibásak, és a korábban megállapított maximális utazósebesség-értékek tévesek.

A mérési eredményeket felhasználva megvizsgáltuk, mi az az elméleti maximális repülési sebesség, aminél a légcsavar vonóereje zérusra csökken [1]. Ezt a repülési sebességet vízszintes repülésben csak abban az esetben lehet elérni, ha a repülőgép ellenállása zérus. Ez a pont a tolóerő-tényező – előrehaladási fok diagram vízszintes tengellyel alkotott metszéspontjában alakul ki (9):

$$V_{e_{max}} = J_{c_t=0} \cdot n \cdot D \quad (9)$$

Ahol  $J_{c_t=0} = 0,654585$  a 6. ábra alapján. A számított elméleti sebességeket a légcsavar fordulatszáma függvényében a 9. ábrán tüntettük fel.



9. ábra

A zérus vonóerőhöz tartozó repülési sebességek [a szerzők]

Az 9. ábra eredményei alapján megállapítható, hogy a repülőgép elméletileg sem volt képes azokra a repülési sebességekre vízszintes repülésben, amit a korábbi tesztrepülések során megállapítottak.

A légcsvár-sárkány együttműködést a szükséges és rendelkezésre álló tolóerők egyensúlyának meghatározásával végeztük el ISA<sup>2</sup> tengerszintnek megfelelő körülmények között.

$$C_{LVR} = \frac{2 \cdot m \cdot g}{\rho \cdot V^2 \cdot S} \quad (10)$$

$$T_R = c_D(C_{LVR}) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot S \quad (11)$$

A számítás során a repülőgép tervezett repülési feladatának ellátásához szükséges 20 kg-os repülési tömeggel számoltunk.

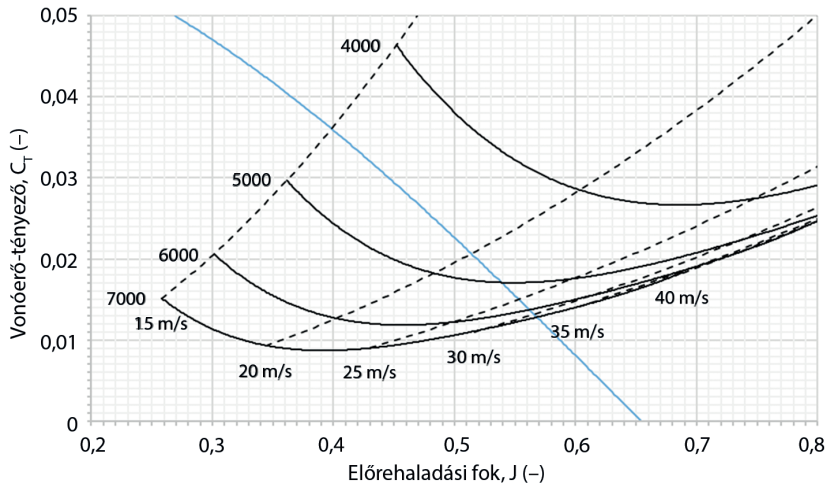
Az eredményeket nem praktikus a klasszikus tolóerő-sebesség diagram felrajzolásával ábrázolni, annak sok paramétertől való függése miatt. Ehelyett a repülőgép vízszintes repüléshez szükséges tolóerőértékeit számítottuk át a sebesség és fordulatszám segítségével tolóerő-tényező és előrehaladásifok-értékekre (10. ábra). Az így kapott ábra alapján könnyen meghatározható, hogy mely repülési helyzetben milyen üzemi paraméterekkel dolgozik a légcsvár, és ehhez párosítható az aktuális határfok is.

A 10. ábrán a kék színű görbe a légcsvár jellemző görbéje. A szaggatott fekete színű görbék az állandó sebességen a vízszintes repülés erőegyensúlyának fenntartásához szükséges tolóerőtényező-értékeket adják. A 15 m/s-es sebességnél kisebb sebességhez tartozó görbéket nem tüntettük fel, mert a számításához használt repülési tömegnél a becsült átesési sebesség 15 m/s-re adódott.

<sup>2</sup> ISA: International Standard Atmosphere – Nemzetközi Egyezményes Légkör.

A folytonos fekete színű görbék az állandó fordulatszámon az erőegyensúly fenntartásához szükséges tolóerő-tényező-értékeket adják. A görbéket 7000 1/min-es fordulatszámig ábráztuk, mert a repülőgépen használt hajtásrendszer nem volt képes nagyobb fordulatszámra.

A kék színű görbe és a szaggatott fekete színű görbék metszéspontjai adják az adott sebességen kialakuló egyensúlyi állapotokat, például 15 m/s vízszintes repülési sebességen a szükséges előrehaladási fok 0,4, a tolóerő-tényező pedig 0,036. Ebből meghatározható a kialakuló légcsavar-fordulatszám, ami 4518 1/min-re adódik.

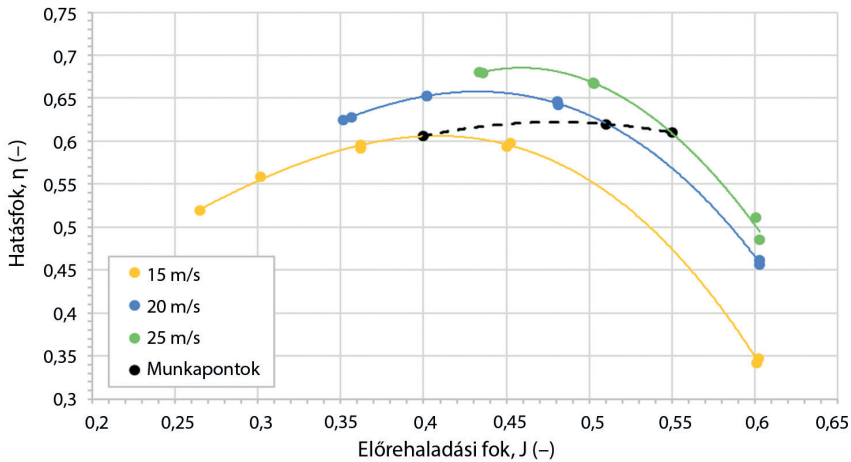


10. ábra

Légcsavar és sárkány együttműködése [a szerzők]

A 11. ábrán kiemeltük azokat a mérési adatokat, amelyekhez tartozó repülési sebességekkel létrejöhetnek a vízszintes repülés feltételei (15, 20, 25 m/s). A mért pontokra a szemléltetés kedvéért görbét illesztettünk a mért előrehaladásifok-tartományban.

A 10. ábráról leolvasott munkapontok alapján meghatározhatók a légcsavarhatásfokok. A 15, 20 és 25 m/s repülési sebességekhez tartozó hatásfokokat és az azokat összekötő görbét szaggatott fekete színű vonallal jelöltük (11. ábra). Látható, hogy 15 m/s repülési sebességnél a légcsavar (pontosabban a hajtásrendszer) az adott sebességhez tartozó maximális hatásfoka, 61% közelében dolgozik, míg 20 és 25 m/s repülési sebességek esetén a rendszer hatásfoka elmarad a maximálistól, 62–63% körüli értéken marad.



11. ábra  
Légcsavar hatásfoka illesztett görbékkel [a szerzők]

## 6. Konklúzió

A vizsgálat eredményeként megállapítható, hogy a méréssel meghatározott maximális hatásfokok elmaradnak a várt és normálisnak tekintett értékektől. Ennek oka lehet a légcsavar érzékeny Reynolds-szám-tartományban történő működése, valamint az a tény, hogy a rögzített elektromosteljesítmény-felvétel nem feltétlenül egyezett meg a motor által a tengelyen leadott teljesítmény értékével. A számítással kapott hatásfokértékek inkább a rendszer összhatásfokát, mint a légcsavar tényleges hatásfokát tükrözik.

A repülőgép és légcsavar együttműködését tekintve a számítással megállapított aerodinamikai tulajdonságokat korábban méréssel nem validálták. Az együttműködési görbe 20 kg-os felszálló tömeggel végrehajtott utazó üzemmódot feltételez. Az eredményekből az látható, hogy 15 m/s körüli repülési sebesség környékén az együttműködés az optimumhoz közeli, de ezen a sebességen a repülőgép feltételezhetően az átesés határán repül. Nagyobb repülési sebességek esetén az üzemi pont a legnagyobb hatásfokot eredményező üzemi ponttól eltávolodik. A kiértékelés alapján a repülőgéppel vízszintes repülésben elérhető maximális repülési sebesség 33 m/s körül alakul, ami elmaradt a korábbi repülési teszteken hibásan mért értékektől, amit alátámasztanak a mérési eredmények alapján a légcsavarra megállapított, zérus tolóerőhöz tartozó maximális sebességek is.

Általánosságban elmondható, hogy a légcsavar globális hatásfoknövelésének lehetséges módja a légcsavar átmérőjének növelése, azonban a szóban átadott mérési tapasztalatok alapján az állapítható meg, hogy a mérés során használt hajtásrendszer nem volt képes a teljes fordulatszám-tartományban hajtani a légcsavart (a tervezettnél kisebb maximális fordulatszám a mérés során), ami miatt pusztán a légcsavar nagyobb átmérőre történő cseréje magabiztosan nem javasolható. Különböző motor- és légcsavar-kombinációk vizsgálata szükséges a helyes átmérő megtalálásához.

## Köszönetnyilvánítás

A projektet a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap (NKFIH) finanszírozta. A projekt címe: *Innovatív és újszerű megoldásokra épülő többcélú merevszárnyú drón és a fejlesztéséhez szükséges kompetenciák létrehozása*. A pályázat azonosítószáma: 2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00139. A szerzők ezúton is köszönik a pénzügyi támogatást.

## Felhasznált irodalom

- [1] Gausz T., *Légcsavarok, elektronikus jegyzet*. 2015. Online: [www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki\\_letoltheto\\_anyagok/Oktatok\\_anyagai/Dr.Gati\\_Balazs\\_anyagai/dr.Gausz\\_Tamas\\_jegyzetek/LEGCSAVAROK.pdf](http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Oktatok_anyagai/Dr.Gati_Balazs_anyagai/dr.Gausz_Tamas_jegyzetek/LEGCSAVAROK.pdf)
- [2] E. Hartman, D. Biermann, *The Aerodynamic Characteristics of Full-Scale Propellers Having 2, 3, and 4 Blades of Clark Y and R.A.F. 6 Airfoil Sections*. NACA, 1938. Online: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19930091715/downloads/19930091715.pdf>
- [3] Rohács J., Gausz Zs., Gausz T., *Repülésmechanika, elektronikus jegyzet*. 2012. Online: [www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki\\_letoltheto\\_anyagok/Oktatok\\_anyagai/Jankovics\\_Istvan\\_anyagai/Repulesmechanika/Repulesmechanika.pdf](http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Oktatok_anyagai/Jankovics_Istvan_anyagai/Repulesmechanika/Repulesmechanika.pdf)

---

## ***Investigation of Propeller and Airframe Interaction on UAV***

*In this article, within the framework of the project "Development of multi-purpose fixed-wing drone based on innovative solutions and the creation of necessary competencies", our task was to examine a propulsion system mounted on an unmanned fixed-wing aircraft. We started the research by evaluating the results of the wind tunnel measurement. From the measurement data, we determined the characteristic curves of the propulsion system installed on the aircraft. We estimated the aerodynamic characteristics of the aircraft using the XFLR5 program. The operating conditions of the propeller in horizontal flight were determined from the results. It was found that the propeller fit is adequate at stall speed, but less than optimal at cruising speed.*

**Keywords:** UAV, aerodynamics, propulsion, propeller, measurement, XFLR5

---

Jankovics István tanársegéd Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Repüléstudományi és Hajózási Tanszék	István Jankovics Assistant Lecturer Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture
<a href="mailto:jankovics.istvan@kjk.bme.hu">jankovics.istvan@kjk.bme.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0003-3624-5133">orcid.org/0000-0003-3624-5133</a>	<a href="mailto:jankovics.istvan@kjk.bme.hu">jankovics.istvan@kjk.bme.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0003-3624-5133">orcid.org/0000-0003-3624-5133</a>

---

<p>Szilágyi Dávid PhD-hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Repüléstudományi és Hajózási Tanszék <a href="mailto:dszilagyi@edu.bme.hu">dszilagyi@edu.bme.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0001-9789-9195">orcid.org/0000-0001-9789-9195</a></p>	<p>Dávid Szilágyi PhD Student Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture <a href="mailto:dszilagyi@edu.bme.hu">dszilagyi@edu.bme.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0001-9789-9195">orcid.org/0000-0001-9789-9195</a></p>
<p>Dr. Sziroczák Dávid adjunktus Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Repüléstudományi és Hajózási Tanszék <a href="mailto:sziroczak.david@kjk.bme.hu">sziroczak.david@kjk.bme.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-0949-8912">orcid.org/0000-0002-0949-8912</a></p>	<p>Dávid Sziroczák, PhD Senior Lecturer Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture <a href="mailto:sziroczak.david@kjk.bme.hu">sziroczak.david@kjk.bme.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-0949-8912">orcid.org/0000-0002-0949-8912</a></p>
<p>Fendrik Ármin fejlesztőmérnök MouldTech Systems <a href="mailto:armin.fendrik@mouldtech.hu">armin.fendrik@mouldtech.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0001-6510-444X">orcid.org/0000-0001-6510-444X</a></p>	<p>Ármin Fendrik R&amp;D Engineer MouldTech Systems <a href="mailto:armin.fendrik@mouldtech.hu">armin.fendrik@mouldtech.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0001-6510-444X">orcid.org/0000-0001-6510-444X</a></p>



Dénes Szilágyi

## Determination of Ultralight Helicopter Test Loads

*In recent times, more and more development activities have been taking place in our country, mainly on own resources. Some promising designs, such as the HC02.2 helicopter, are slowly reaching the milestone of type certification. This article deals with the design considerations for the related strength tests through a particular example.*

**Keywords:** *helicopter, structural loads, type certification, load cases, aerodynamic forces, load test*

### 1. Introduction

In recent times, more and more development activities have been taking place in our country, mainly on their own resources. Some of these are incipient, but others have been going on for a decade and a half and have a good industrial background. One such development is the 2-seater ultralight (UL) helicopter HC02.2 developed by Hungaro-Copter Ltd. The solutions used on this machine were developed through the construction of single-man technological demonstrators and decades of experimentation, gaining very valuable experience over time. The result of this process are some very innovative solutions, such as the fully Hungarian designed and manufactured rotor blade using the results of BERP<sup>1</sup> electric emergency propulsion, etc. In 2022, the manufacturer was granted experimental certification by the Hungarian authorities, which only allows the production of 7 units. Interest in the type is growing, thanks to the good performance at the shows. In order to meet the growing demand and the possibility of further development, the design process has now reached the stage of type-approval tests. The basis for the type certification is the (last) revision of the LTF – ULH<sup>2</sup> requirement issued by the DULV<sup>3</sup> in 2019. The DULV also performs regulatory tasks for aircraft with a maximum take-off weight of 600 kg and up to 2 seats, and their certificates are accepted by the LBA<sup>4</sup> and the Hungarian authority. Part of the certification process is to determine the loads for each structural component for the load cases specified in the regulations and to design the load (fatigue for dynamic components) tests based on these loads. This is important, not only

<sup>1</sup> BERP: British Experimental Rotor Programme. Modify helicopter rotor blades to increase the available lift and flight speed.

<sup>2</sup> LTF – ULH: Lufttüchtigkeitsforderungen für Ultraleichtubschrauber – Airworthiness Requirements for Ultralight Helicopters.

<sup>3</sup> DULV: Deutscher Ultraleichtflugverband – German Ultralight Flying Association.

<sup>4</sup> Luftfahrt Bundesamt – German Federal Office of Civil Aviation.

to verify the strength design of the structural elements, but also because many components do not have strength design due to the completely rational copying of similar structures, and finally the interaction of the loads of the individual elements must be investigated. A good example of this is the case of the tailboom, which is subject to its own aerodynamic drag from loads generated by the horizontal and vertical stabilisers and the tail rotor. Considering the fundamentally carbon fibre construction and the fact that the relevant analysis [1, p. 11] shows that the load factor achievable by the rotor transiently is less than 2, and that mass forces can be neglected in the cases I have examined (of course, for example, for a seat load, landing gear loads, etc., mass forces are very relevant, which are basically due to loads from the ground).

## 2. Determining the loads on selected structural elements

As stated in the introduction, the design loads are given in the design specification and will be detailed for the structural element under consideration. The necessary safety factors are taken into account in point 3. The loads on the tailboom are the followings:

1. Loads coming from the tail rotor (TR) as:
  - Reaction torque of TR drive;
  - Bending moment of the Thrust of the TR;
  - Gyroscopic torque of the TR.
2. Loads coming from the stabiliser and fin as:
  - Aerodynamic drag;
  - Lift.

### 2.1. Reference load on the horizontal stabiliser

The aim of this simplified calculation is to calculate the aerodynamic loads of the stabiliser at  $V_{NE}$  with a 10 m/s wind gust from above (LTF-ULH.341 and 413). Rationale: The stabiliser in case of high speeds generates downward air force by default, for which the negative angle of attack increasing effect of the wind gust is realised.

#### 2.1.1. Determination of the aerodynamic load on the stabiliser

For the determination of the aerodynamic forces on the stabiliser (VV), the aerodynamic factors and its angle attack must be determined. For this purpose, the angle of attack of the rotor-plane has to be determined, what depends on the forces, including forces of the stabiliser (Figure 1). A simplifying assumption is that the resultant rotor thrust (TR) is balanced by the drag (D) of the fuselage and control surfaces ( $D_{FV}$  and  $D_{VV}$ ), the weight of the machine (W) and the downforce of the stabiliser ( $L_{VV}$ ). The drag of the fin ( $D_{FV}$ ) is negligibly dependent on the fuselage pitch angle (interpreted here as the slip angle). The calculation is iterative in nature as the pitch angle of the stabiliser ( $\alpha_{VV}$ ) must be estimated to give values of L and D, which I calculate to determine the pitch angle, which affects the values of L and D of the VV.

Table 1.  
Necessary data for computation [13]

$V_{NE}$ :	<b>120 KTAS = 61.8 m/s</b>
$\rho$ (ISA/SL):	1.225 kg/m <sup>3</sup>
Dynamic pressure q:	2336.76 Pa
Chord of stabiliser c:	0.196 m
Area of stabiliser A:	0.21 m <sup>2</sup>
Wet area of stabiliser A'	0.22 m <sup>2</sup>
Re:	8.19E+05
Kinematic viscosity n:	0.0000148 m <sup>2</sup> /s
Rotor diameter D:	7 m
Rotor RPM:	577.0 1/min
Rotor $\omega_R$ :	60.423 1/s
Advance ratio $\mu$ :	0.29

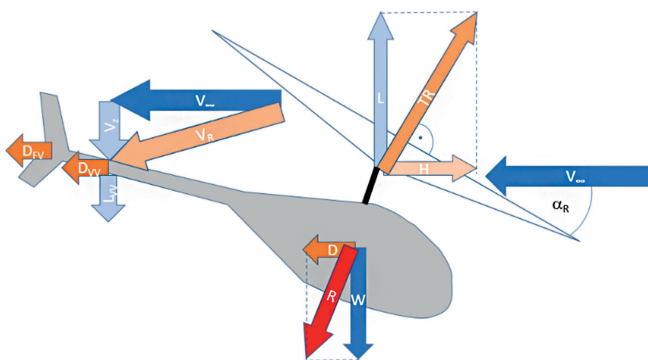


Figure 1.

Forces on the helicopter [the author]

A further assumption is that the blade tip plane is perpendicular to the rotor axis. The function of fuselage drag is based on the results of the CFD simulation of the fuselage, what was supplied by the manufacturer as from which the results of simulation titled "FC7-G üreges" have

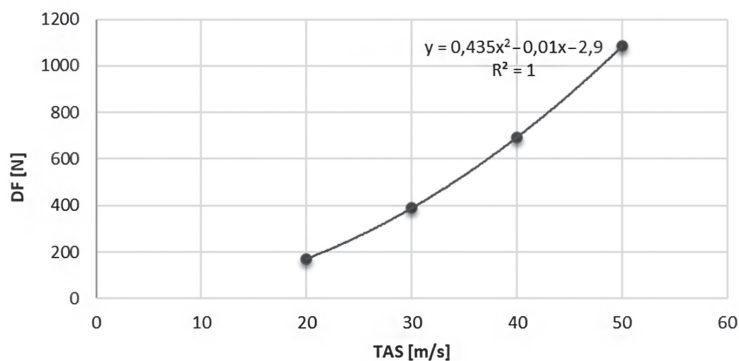


Figure 2.

Fuselage drag  $D_f$  (TAS) [the author]

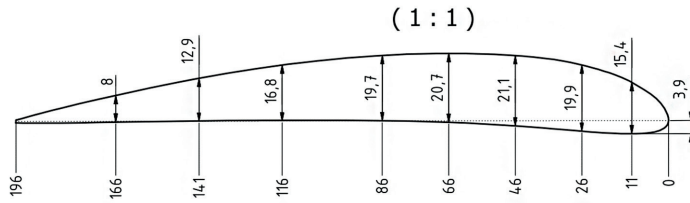


Figure 3.  
The profile of stabiliser (VV) [2]

been used. The drag of the fuselage ( $D_F$ ) as a function of TAS is shown on Figure 2. At the  $V_{NE}$  we can get a  $D_F = 1656$  N. For the calculation, I considered MTOM when the weight of the helicopter is  $W: 5886.32$  N. Calculated with  $D_F$  above and  $W$  only, the  $R-W$  angle is  $15.71^\circ$ . The installation angle of the rotor shaft is  $3.00^\circ$  (forward) and the installation angle of the VV to the tailboom is  $8.00^\circ$  (upward). By this way, the angle of attack of the VV decreases with the angle of installation of the rotor shaft and the VV, so the  $\alpha_{VV}: 4.71^\circ$ .

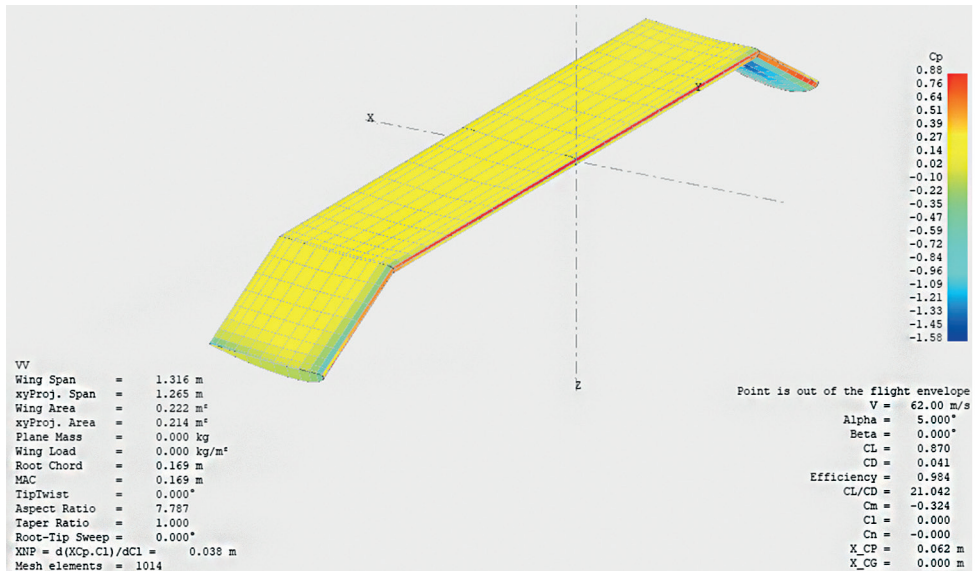


Figure 4.  
The 3D model of VV with the pressure distribution at  $\alpha_w = 0^\circ$  [the author]

On the base of these results, the aerodynamic forces of the stabiliser can be calculated. I created the VV Profile (Figure 3) properties and the whole VV behaviour with the help of XFLR5 application. The profile properties and VV parameters are shown in Figure 3, 4, and 5. As we can see on Figure 4,  $C_L = 0.87$  and  $C_D = 0.041$ . Knowing the other parameters,  $L_{VV} = 451.32$  N and  $D_{VV} = 21.27$  N. We need the Drag of the fin ( $F_V$ ) also. On the basis of XFLR5 simulation (Figure 5),  $C_D = 0.06$ . Knowing the other parameters, the  $D_{FV} = 33.23$  N.

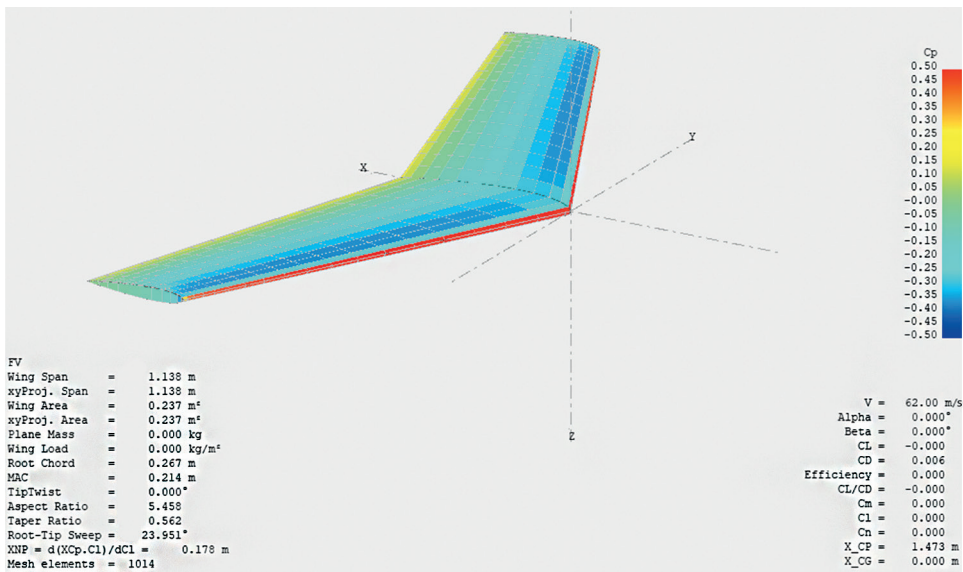


Figure 5.

The 3D model of FV with the pressure distribution at  $\alpha_{VV} = 0^\circ$  [the author]

With these additional forces, the equilibrium of the helicopter was recalculated. The new drag value is balanced by the H force, so  $H = D_F + D_{VV} + D_{FV} = 1710.56 \text{ N}$  and the new necessary lift value is  $L = W + L_{VV} = 6337.65 \text{ N}$ .

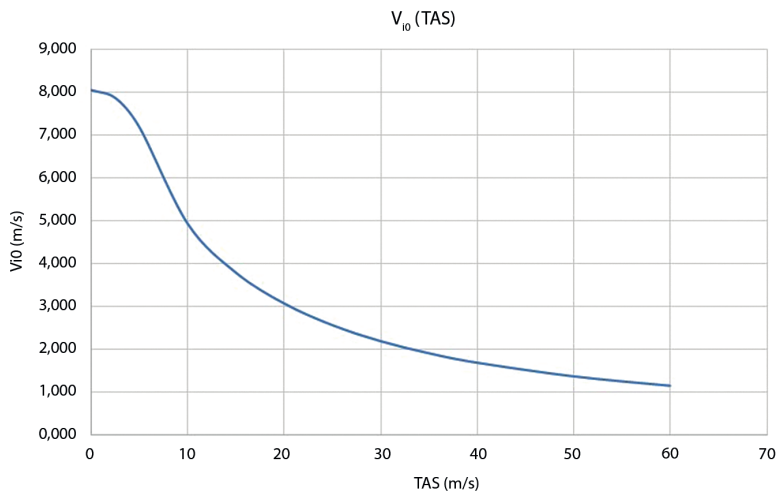


Figure 6.

The average induced velocity  $v_{10}$  (TAS) [the author]

In this case, the angle of  $T_R$  with the vertical, which is equal to the value of  $\alpha_R$ , is  $15.10^\circ$ . In the verification image, the difference between the R–W angle and  $a_R$  is  $\Delta\alpha_R = 0.61^\circ$ . This is a negligible difference, not worth iterating again. For the correct angle of attack of the VV, we need the induced velocity and a downstream velocity of 10 m/s of course. The [1, p. 9] serves us with the average induced speed as a function of TAS<sup>5</sup> (Figure 6), so we can get the actual  $v_{i0}$  value of 1.036 m/s. The flow of VV is given by the vector product of TAS and the 10 m/s downstream and  $v_{i0}$  vertical induced velocity.

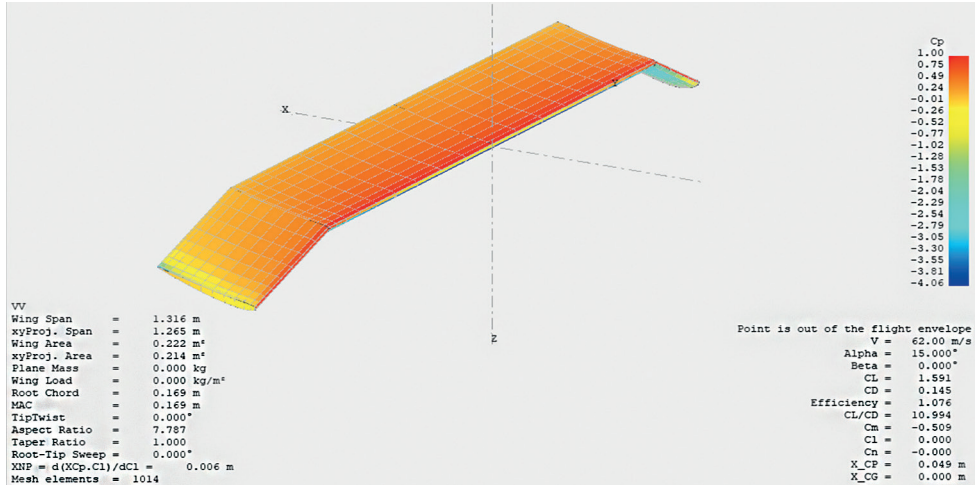


Figure 7.  
The 3D model of VV with the pressure distribution at  $\alpha_{VV} = 15^\circ$  [the author]

On this base, we can get the flow components. The vertical component  $V_z = 11.0$  m/s, the horizontal component  $V_\infty = 61.8$  m/s, the magnitude of the resulting flow  $V_R = 62.7$  m/s, the resultant angle of attack of the VV is  $f_{VV}$  of  $10.13^\circ$ . For steady horizontal flight, the  $\alpha_{VV}$  is determined (without the gust) in:  $4.71^\circ$ . By these two values, the resulting angle of attack is  $\alpha_{vvr} = \phi_{VV} + \alpha_{VV} = 14.84^\circ$ . Using XFLR5 again at this angle of attack, the  $C_L$  value is 1.591 and the  $C_D$  value is 0.145 (Figure 7). With the coefficients above knowing other parameters, the downforce on the VV at MTOM / 120 KTAS and 10 m/s downstream is  $L = 825.35$  N and  $D = 75.22$  N.

## 2.2. The reference load of fin (FV)

The aim of this simplified calculation is to calculate the aerodynamic loads of the fin as prescribed by the LTF-ULH.351. By this way, we have to suppose a  $90^\circ$  drift at the 60% of the  $V_{NE}$  and a  $15^\circ$  drift at the  $V_{NE}$ . Both cases shall be calculated, and then the larger value can be used for strength test. The fin is a swept back asymmetric construction, see Figure 8.

<sup>5</sup> TAS: True Air Speed.

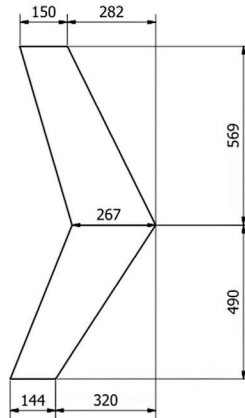


Figure 8.  
Fin [11]

### 2.2.1. Determination of the aerodynamic load on the fin

The LTF-ULH.351 a) assumes a slip angle of 15 degrees at  $V_{NE}$ . The slip angle = angle of attack of the fin supposed for the calculation (effect of MR downwash is not considered). The  $C_L$  of the profile from [3, p. 4] is about 1.33. Considering the shape using XFLR 5, we can get a  $C_L$  of 1.074,  $C_D$  of 0.082, and  $\epsilon = 7.9\%$  (Figure 9). Further simplifications:

- the chord and the tailboom are parallel (there is a difference of 3 degrees in the reality);
- the drag is 7.9% of the lift and pulls the tailboom;
- the induced velocity of the tail rotor is less than 1 m/s, so its effect has not been considered on the zone of fin affected by the downwash of the TR;
- the asymmetry of the fin (top part area is  $0.118 \text{ m}^2$  and the bottom one is  $0.1 \text{ m}^2$ ) is also not considered as a source of twisting moment.

The results of calculation are  $L_{FV} = 533.4623618 \text{ N}$  and  $D_{FV} = 42.02 \text{ N}$ .

Table 2.  
Necessary data for computation [13]

$V_{NE}$ :	<b>120 KTAS = 61.8 m/s</b>
$\rho$ (ISA/SL):	1.225 kg/m <sup>3</sup>
Dynamic pressure q:	2336.76 Pa
Root chord c:	0.267 m
MAC of fin:	0.214 m
Area of stabiliser A:	0.2193 m <sup>2</sup>
Wet area of stabiliser A'	0.234 m <sup>2</sup>
Leading edge sweep back angle:	23.951°
Re:	8.94E+05
Kinematic viscosity n:	0.0000148 m <sup>2</sup> /s
Profile of the fin:	NACA 0012

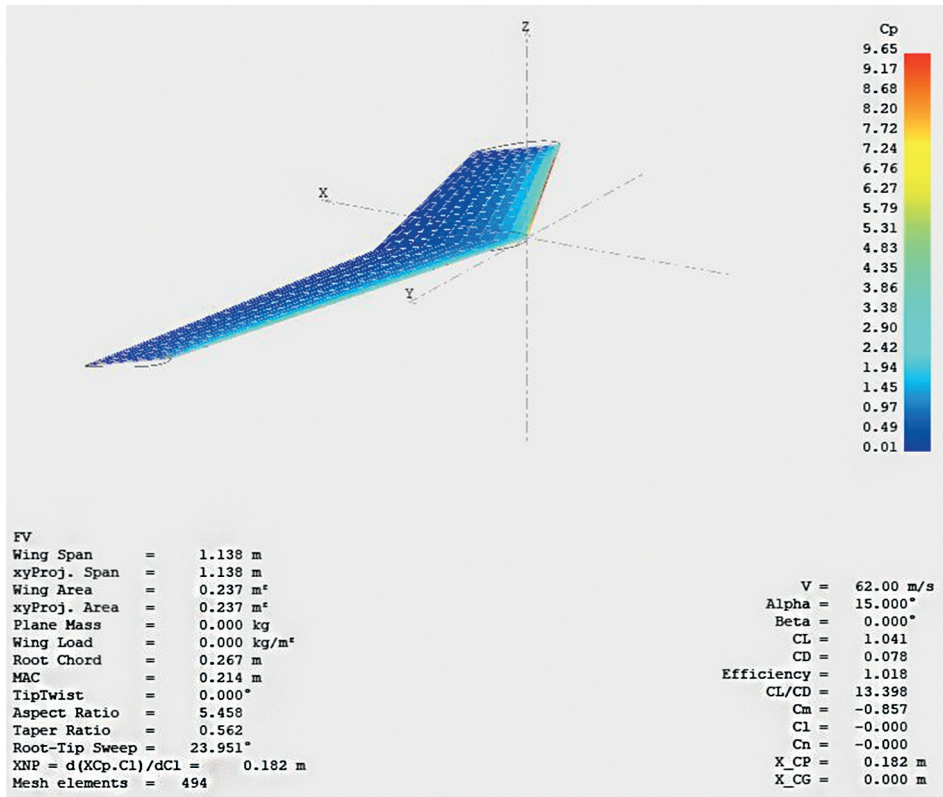


Figure 9.  
The 3D model of FV with the pressure distribution at  $\alpha_{FV} = 15^\circ$  [the author]

LTF-ULH.351 a) also assumes a slip angle of 90 degrees at 60%  $V_{NE}$ . The curve of  $Re\ 900,000$  was used in the [3, p. 16], what is close enough to the real  $Re$  value. On the base of this,  $C_D = 2.08$ . The  $V_{i0}$  of the TR is about 1.8 m/s (see Figure 10), and was considered on the whole surface of the fin, see Figure 11.

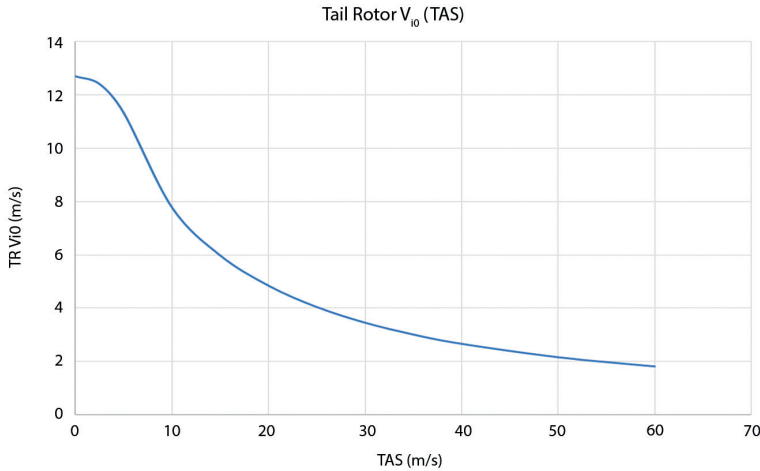


Figure 10.  
*v<sub>i0</sub> of the TR [the author]*

Knowing all other parameters, the magnitude of the drag force on the fin is:  $D_{FV} = 383.72 \text{ N}$ .

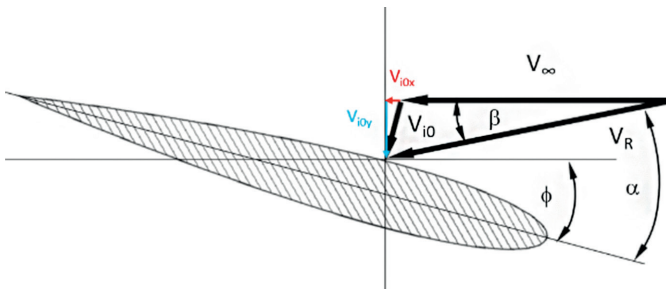


Figure 11.  
*Effect of  $v_{i0}$  on fin [the author]*

By this way, the significant load is in case of the 15 degrees slip. The strength test of the fin, therefore, shall be designed for this value.

### 2.3. Loads generated by the tail rotor (TR)

The TR generates reaction torque on its drive, what is in parallel appears as a constant bending moment along the tailboom, the thrust of the TR what bends the tailboom also, and finally in case of any rotating motion, the inertia of the TR can generate a gyroscopic torque of the TR.

### 2.3.1. Determination of the maximum achievable TR thrust value

As a first step, the calculation of the power necessary to the TR – supplied by the tail-gearbox (TGB) – shall be determined. Unfortunately, in the lack of this TGB-out power, the whole transmission shall be analysed. The effective power of the Rotax 915i engine in case of take-off power setting is:  $P_{\text{eff}} = 104 \text{ kW}$  at 5800 RPM. As  $\omega = 2 \pi n$ , the moment of the engine is:

$$M = \frac{P_{\text{eff}}}{\omega} = 171.229 \text{ Nm} \quad (1)$$

In case of maximum cruise power (MCP) setting, we have  $P_{\text{eff}} = 99 \text{ kW}$  at 5500 RPM what gives  $M_{\text{MCP}} = 171.887 \text{ Nm}$  moment. The power values above shall be considered as available power on the output shaft of Rotax 915i gearbox. The gear ratio of this gearbox is  $i = 2.54545$ . On the base of the moment results above, the take-off power considered as  $P_{\text{out}}$  for further calculation. With the gear ratio above, the output angular velocity of the gearbox is  $\omega_{\text{out}} = 238.612 \text{ 1/s}$  ( $n_{\text{out}} = 2278.575 \text{ RPM}$ ). With this value,  $M_{\text{out}} = 435.854 \text{ Nm}$ . The power is transmitted from the engine to the transmission shaft via vee-belts, as can be seen in Figure 12. Ratio of this vee-belt transmission is:  $i_{\text{DB}} = 0.67347$ . The effectiveness of this vee-belt transmission is (declaration of the manufacturers):  $\eta_{\text{VBT}} = 0.97$ . By this way, the input power on transmission shaft is:  $P_{\text{in}} = P_{\text{out}} \eta_{\text{VBT}} = 100.88 \text{ kW}$ . Furtherly, the RPM of the transmission shaft is:  $n_{\text{in}} = \frac{n_{\text{out}}}{i_{\text{DB}}} = 3383.336 \text{ RPM}$ .

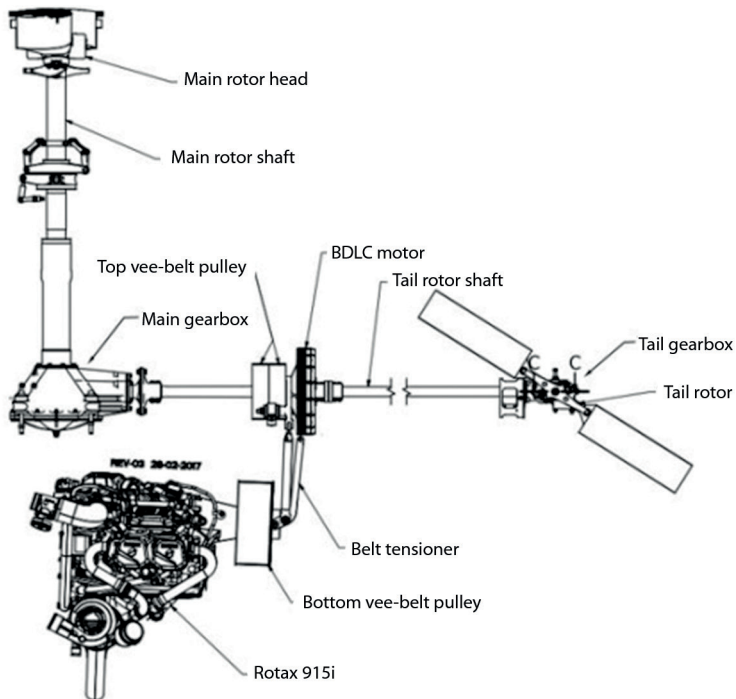


Figure 12.  
HC-02.2 Transmission system [10]

The following values are given by the manufacturer, and coincide with the literature.

The maximum input power of tail gearbox (TGB) was measured by the control of the emergency electric drive when the MGB was disconnected:  $P_{TGBin} = 13$  kW. The input power of main gearbox (MGB):  $P_{MGBin} = P_{in} - P_{TGBin} = 87.88$  kW with  $\omega_{MGBin} = 354.302$  1/s (without details). Knowing the  $\omega_{MGBin}$ , the input torque of MGB is:  $M_{MGBin} = 248.037$  Nm. Gear ratio of MGB:  $i_{MGB} = 5.85714$ . The power loss of the MGB is (declaration of the manufacturer): 2%, so  $\eta_{MGB} = 0.98$ . Using this efficiency, the output power of MGB to the main rotor head (MRH) is:

$$P_{MR} = \eta_{MGB} P_{MGBin} = 86.122 \text{ kW} \quad (2)$$

As we know the gear ratio and  $\omega_R = 60.491$  1/s, the torque of MR is  $M_{MR} = \frac{P_{MR}}{\omega_R} = 1423.731$  Nm. The input RPM of the MGB and TGB is the same. Therefore, the input torque maximum of TGB is:

$$M_{TGBin} = \frac{P_{TGBin}}{\omega_{MGBin}} = 36.692 \text{ Nm} \quad (3)$$

The gear ratio of the TGB is:  $i_{TGB} = 0.9545$ . The angular velocity of tail rotor (TR):

$$\omega_{TR} = \frac{\omega_{MGBin}}{i_{TGB}} = 371.191 \text{ 1/s} \quad (4)$$

The power loss of the TGB is (declaration of the manufacturer) also 2% so  $\eta_{TGB} = 0.98$  and the output power of the TGB is:

$$P_{TGBout} = \eta_{TGB} P_{TGBin} = 12.74 \text{ kW} \quad (5)$$

On this base, the torque n of tail rotor is:

$$M_{TR} = \frac{P_{TGBout}}{\omega_{TR}} = 34.322 \text{ Nm and } n_{TR} = 3544.616 \text{ RPM} \quad (6)$$

The other components of necessary power have same percentages as below, and were considered with the 104 kW available power of Rotax 915i for control purposes. On the base of [4, p. 46], the following engine power output percentages are generally in case of a tail rotor helicopter:

- for the main rotor drive cca. 75–80%
- for the tail rotor drive cca. 8%
- artificial cooling of the piston engine needs cca. 5%
- the friction loss of the transmission needs cca. 7%
- drive of auxiliary equipment needs cca. 1–2%

Based on the values above, the total power loss should be 16–17%, so the power available (real) for the main rotor is:

$$P_{MRreal} = P_{eff} 0.83 = 86.32 \text{ kW} \quad (7)$$

so the suppose of  $P_{MR} = 86.122$  kW is realistic, that's why the further calculation is based on this value. In hover, the necessary thrust of TR for balancing (vertical climb and steep turn should be simulated) can be calculated, knowing the torque of MR and the distance ( $L_{TR}$ ) of MR axis and TR axis in the plane what is perpendicular to the MR axis.

$$L_{TR} = 3.9925 \text{ m, so the thrust of TR is: } T_{TR0} = \frac{M_{MR}}{L_{TR}} = 356.601 \text{ N} \quad (8)$$

The thrust of tail rotor should be estimated on the base of statistics with the following relationship [4, p. 120]:

$$T_{TRstat} = 30 P_{TGBout} \text{ (in kW)} = 382.2 \text{ N (instead of kW)} \quad (9)$$

Therefore, the TR could ensure the necessary balancing thrust if it took such power. Nevertheless, by this way, there is only 24 N as reserve control thrust, what is not so much. Since the rate of necessary powers is:

$$\frac{P_{TGBout}}{P_{eff}} = 12.25\% \quad (10)$$

Namely, this value is 1.5 times higher than the 8% above; this value must contain the necessary thrust for directional control also. Remark: In case of Mi-8 helicopter, the TR takes 530 HP of the available 3000 HP what is 17.7%, in case of fully deflected pedals without any yawing (yaw turn decreases the necessary power). These results are not so coincident.

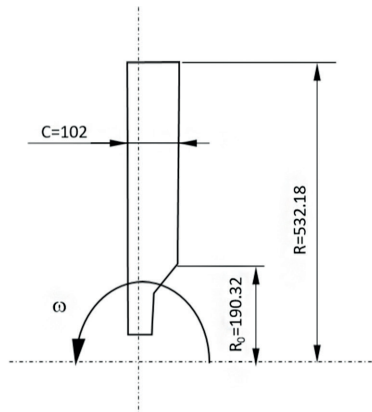


Figure 13.  
Tail rotor geometry [12]

For further clarification, the thrust (and its distribution along the blades\*) has been calculated with the combined Blade-element – Momentum Theory. The necessary data (Figure 13) for calculation:

Data of TR:

$$R = 532.18 \text{ mm}$$

$$C = 102 \text{ mm}$$

$$D = 1.06436 \text{ m}$$

$$R_0 = 190.32 \text{ mm}$$

$$\delta = 0.119$$

$$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$$

The profiles are NACA 2414 at the root and NACA 1412 at the tip with continuing transformation. The  $\alpha_{opt} = 5^\circ$  for both profiles [5], [6]. The affected surface (section) of TR is:  $A_s = 0.89 \text{ m}^2$ . The peripheral velocity at the blade root:

$$v_{pR0} = R_0 \omega_{TR} = 70.645 \text{ m/s} \quad (11)$$

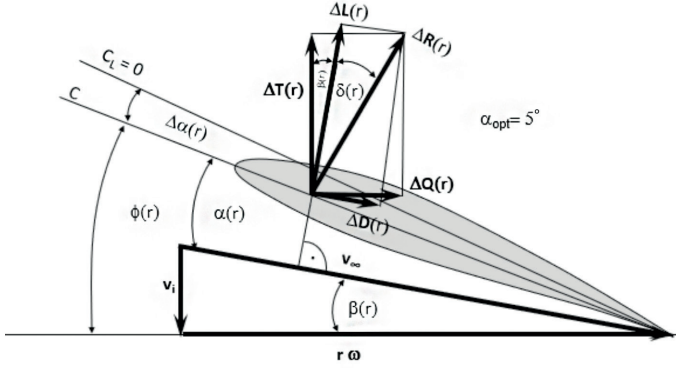


Figure 14.  
TRB element [the author]

The peripheral velocity at the blade tip:  $v_{pR} = R \omega_{TR} = 197.541 \text{ m/s}$

The momentum theory can express the induced velocity if the thrust was known:

$$T = m_{sec} 2 v_i = \rho v_i A_s 2 v_i = \rho A_s 2 v_i^2 \quad (12)$$

By this way, in case of hover (just for balancing the MR torque) the necessary  $v_i$  is:

$$v_{i0} = \sqrt{\frac{T_{TR}}{2 \rho A_s}} = 12.79 \text{ m/s} \quad (13)$$

The necessary pitch values at the root and at the tip can be calculated on the base of velocity triangle for hover, as shown in Figure 14 as follows:

$$\beta_{R0} = \text{atan}\left(\frac{v_i}{v_{PR0}}\right) = 10.262^\circ \text{ and } \beta_R = \text{atan}\left(\frac{v_i}{v_{PR}}\right) = 3.705^\circ \quad (14)$$

This goes to show the twist of the blade should be  $7^\circ$ . The Manufacturer stated that due to better high-speed behaviour they apply  $\Delta\phi = 3.33^\circ$  of twist along the blade length. For reaching the  $\alpha_{opt}$  at  $R_{0.75}$  section, we have to calculate the necessary pitch angle values on the base of formulae  $\phi = \beta + \alpha$ . On the base of above, the:  $\beta_{R0.75} = 5.3^\circ$  so we need a  $\phi = 10.3^\circ$  for reaching the  $\alpha_{opt}$ .

$$\varphi_{R0} = \varphi_{R0.75} - (0.75R - R_0) \left(\frac{\Delta\varphi}{R - R_0}\right) = 12.6^\circ \quad (15)$$

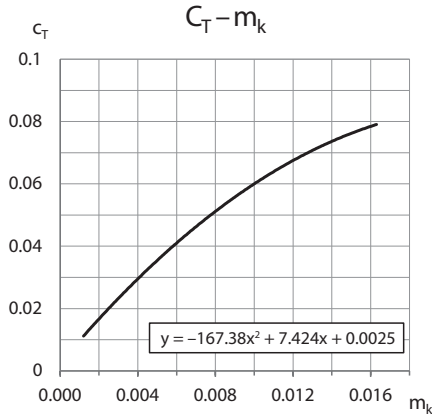


Figure 15.  
 $c_T - m_k$  curve source [7, p. 17]

The Manufacturer shared the range of pitch is  $\phi$  from  $-9^\circ$  (RH pedal max) to  $+15^\circ$  (LH pedal max) at the 0.75R. As we can see on the base of  $\phi_{R075}$ , there is  $4.7^\circ$  control reserve (LH pedal) in case of hovering until the opposite direction there is a much higher control range ( $19.3^\circ$ ) estimated. As a first step, we can calculate the  $m_k$  torque factor on the base of the maximum  $M_{TR}$  calculated formerly:

$$m_k = \frac{2M_{TR}}{\rho(\omega_{TR})^2 A_{TRR}} = 0.0039721 \quad (16)$$

For this  $m_{k1}$  value, we can find the appropriate  $c_{T1}$  value for 1 m diameter experimental rotor of [7, p. 17, figure 1.8]. Look at Figure 15 with the equation of trend line. With the trend equation, we can get the  $c_T = 0.0029348$ . With this  $c_T$  value, we can calculate the maximum achievable thrust of the TR with the following formula:

$$T_{TRmax1} = c_{T1} \rho/2 (R\omega)^2 A_s = 517.42 \text{ N} \quad (17)$$

Knowing the  $T_{TR0}$  (necessary thrust for MR balancing in case of steady hover), the  $c_{T2}$  can be calculated:

$$c_{T0} = \left( \frac{2 T_{TR0}}{\rho(R\omega_{TR})^2 A_s} \right) = 0.0202 \quad (18)$$

for which the  $m_k$  value from Figure 15  $m_{k0} = 0.002532$ . With this value, the  $M_{TR0} = 23.75 \text{ Nm}$  and the  $P_{TR0} = 8.03 \text{ kW}$ . In case of hover, a rough approximation of the thrust is proportional to the pitch if the RPM remains unchanged [8, p. 191] (Figure 16).

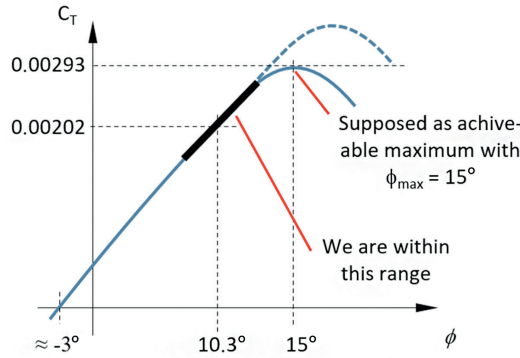


Figure 16.  
Generic  $c_T(\phi)$  [the author]

Just for checking the calculation, the maximum thrust was also calculated on the base of the rate of  $c_T(\phi)$  values. From Figure 15, the  $\phi$  for  $c_T = 0$  can be assumed as  $-3^\circ$  averagely, if by the value of  $\phi_{R075} = 10.3^\circ$  when the  $T_{TR0} = 356.601$  N. By this way, the tangent of the linear section of the  $c_T(\phi)$  curve:

$$\frac{dc_T}{d\phi} = 0.0015208 \quad (19)$$

Using this tangent value, we can calculate the  $c_T$  of  $\phi_{R075} = 18^\circ$  which is  $c_{T2} = 0.02737$ . By this way, we can re-calculate the  $T_{TR}$  using the rate of  $c_T$  values, what is:

$$\frac{c_{T2}}{c_{T0}} = 1.35 \quad (20)$$

By this way, the  $T_{TR}$  value is:  $T_{TR2} = 482.61$  N. Just for checking purpose, the thrust factor was determined also with the following formula used for propellers:

$$T_{TR2} = c_T \rho n'^2 D^4 \quad (21)$$

where  $n'$  is the revolution per second ( $n_{sec}$  below). As this expression is used for propellers basically, such  $c_T$  values are not directly comparable to the above ones but give a good basis.

$$n_{sec} = \frac{\omega_{TR}}{2\pi} = 59.077 \text{ 1/s and with this value the } c_{Tmax} = \left( \frac{2T_{TR2}}{\rho n_{sec}^2 D^4} \right) = 0.088 \quad (22)$$

This value looks like a usual value for  $TAS = 0$  (hovering) on the base of curves in the [9, p. 47] (Note: the  $c_T$  values there must be multiplied by 2 due to the use of  $\rho/2$  there, instead of  $\rho$  here and the present  $\sigma = 0.119$  which is higher than 0.1 there). On the base of this, we can accept the  $T_{TR2}$  value above as a realistic one (generated with maximum pedal movement in the direction of MR rotation during hovering). Nevertheless, on the base of Figure 15, we can see the maximum experimental  $c_T$  values were close to 0.08. When the maximum power required by the TGB was measured, the Manufacturer used the maximum value of  $\phi = 15^\circ$ .

It can be seen, there should be more reserves in the TR, therefore, the  $T_{TR1}$  values are suggested to be used for certification purpose. Additionally, the 1.5 factor of LTF-ULH 351 also shall be considered. By this way during the load test, the suggested force below shall be applied in the axis of TR shaft pushing it to the right side of the helicopter (counter-clockwise):  $T_{TR} = 776.13 \text{ N}$

The reaction torque of the TR can be calculated on the base of the  $P_{TGBout} = 12.74 \text{ kW}$ , given it is a realistic value necessary to the maximum thrust above.

### 2.3.2. Determination of the TR reaction torque value

On the base of LTF-ULH.361, the torque of a four stroke 4-cylinder piston engine shall be considered with a multiplication factor of 2 due to the torque fluctuation of the engine. The case in LTF-ULH.337 does not result higher torque on the TGB than calculated in (5) above, because the maximum available power is used in both cases. In other words, the TGB cannot consume more power than 13 kW. By this way, the reaction torque of the TR is:

$$M_{TR} = \left( \frac{2 P_{TGBout}}{\omega_{TR}} \right) = 68.644 \text{ Nm} \quad (23)$$

and shall be considered with opposite direction of TR rotation.

### 2.3.3. Determination of the TR gyroscopic moment value

We are examining a rotor where the flapping motion is allowed, and in case of a flapping deflection, the pitch change rods modify the  $\phi$  to counteract that deflection. This is in case of a deflection caused by gyroscopic moment. As the experiment with plasticine (Figure 17) shows, the tail rotor blades do not reach the end of range of flapping motion even with the most intense yawing motion (video also available), so gyroscopic torque cannot be generated and does not load the tailboom.



Figure 17.  
Effect of flapping compensation [13]

### 3. Planning of the load tests

For the loads defined in Chapter 2, LTF – ULH also provides various load, handling, operational, and safety factors. The main problem is the rather general wording of the requirements, which causes problems for the user. There are difficulties in interpreting which loads are sufficient to be applied individually, and which must be applied simultaneously. The case of the tailboom is also a good example. It also seems impossible, given the flight experience and the power demand, for the helicopter to perform 15 degrees slip at  $V_{NE}$  under its own power. However, no lateral gust should be prescribed, only a vertical gust to verify the VV. However, if we assume the feasibility of this slip, we find that the thrust of the TR and the lift on the FV are in opposite directions and balance each other out to a significant degree. Hence, there is hardly any torque on the tailboom, while the TR thrust and the FV forces are at their maximum, so they should be tested separately. If there were also a lateral gust, then the TR thrust and the FV lift would sum, subjecting the tailboom to significantly more bending. In any case, the FV would have to be dismantled to apply the distributed load. The points of attack of the forces and torque are clearly determined, therefore, after the calculation of the load a strength test of the tailboom can be easily carried out.

#### 3.1. Determination of data necessary for strength test of horizontal stabiliser

For determination of the load to be applied, we must assume a square load distribution (as per ULH.427, which results higher than real bending moment values). The half of the stabiliser bears half of the load that is  $L/2$ : 619.01 N, considering the 1.25 and 1.5 factors. The half of the span is  $S/2 = 609.00$  mm. With these two values, the specific lift is:  $L/S = 1.02$  N/mm. For the simulation (strength test) of the  $L_{VV}$ , a mass distribution can be calculated for a practical number of segments (Figure 18) along the span of stabiliser. From this, the force acting on each segment and the required mass for its simulation can be calculated. The twisting moment of the profile of VV also must be considered. The next task is to create a twist by moving the point of contact. The mass forces are omitted because of the light construction and the opposite effect to the  $L_{VV}$ . In the simulation with XFLR5, the centre of pressure of the VV profile is 10.68% from the inlet. The torque factor of the profile:  $c_m = -0.509$ . With this  $c_m$  the total torque on half VV is:

$$M = c_m q c A/2 = -25.88 \text{ Nm} \quad (24)$$

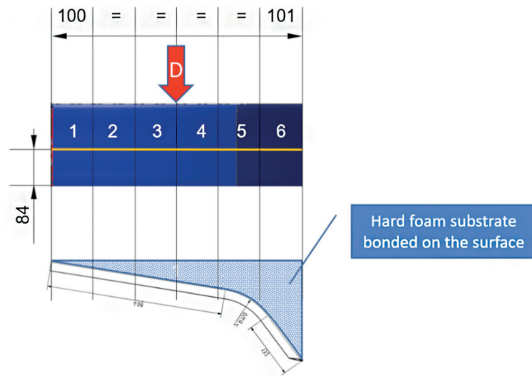


Figure 18.  
Load distribution along the half stabiliser (VV) [the author]

For simulating this effect, the load imitating mass should be placed further back than Aerodynamic Centre (hereafter AC) of profile. The distance from AC can be determined from the expression  $M = x L/2$  where  $x = -4.2$  mm (negative means behind the AC). Since VV is rectangular in projection, this is a constant value along the span. By this amount, the centre of mass of the loads must be placed behind AC. Knowing the necessary distance from the leading edge is more practical. It is 62.74 mm and indicated by the orange line on the top view of Figure 18. The stabiliser is anhedral with the angle of  $9^\circ$ . This arrangement results in a more unfavourable lift distribution along the stabiliser and reduces the resulting moment arm of the lift. The projection of half of the stabiliser is thus 601.5 mm. Compared to the calculation carried out assuming a horizontal arrangement, this results in lower loads (lift and its bending moment), which I have not considered, thus also deviating towards safety. By using the foam interlayer, as shown in Figure 18, the loads on each strip can be easily applied. Due to the small value of the drag, it is not necessary to apply it as a distributed load along the entire span. The point of attack of D shall be applied at 301 mm from the root at half the span of the VV rearwards in its plane due to the assumption of an angular distribution (it is recommended to use at least 100 mm wide strap when applying the load). Using the specific lift above and the length of segments for the imitation of the  $L_{VV}$ , the load to be loaded in zones 1–5 is 12.395 kg and in zone 6 is 13.73 kg.

### 3.2. Determination of data necessary for strength test of fin

Determination of the load to be applied assuming a square (as per ULH.427) load distribution. Due to the asymmetry of the fin, the whole fin must be loaded. I consider the atmospheric loads to be proportional to the surface along the span, so the effect of the pressure equalisation at the tip has not been considered. This gives the resulting point of attack moved further away from the root, resulting in a higher bending moment. The surface of the fin should be divided into 100 mm wide strips. The uniform surface load is  $0.002432569 \text{ N/mm}^2$  on which base the necessary mass values can be calculated for each strip, as shown in Table 3 below.

Table 3.  
Loads for strength test of the fin [the author]

Location ID	Mid of strip [mm]	Mean chord MC [mm]	Area of strip [mm <sup>2</sup> ]	The Lift on the strip L' [N]	Factor (§ 351)	Factor (§ 619)	Factor (§ 303)	Imitation mass [kg]	Point of attack from the LE [mm]
F6	535.00	156.99	10832.39367	51.77	1.5	1.25	1.5	14.84	70.65
F5	450.00	174.47	17446.92443	83.38	1.5	1.25	1.5	23.90	78.51
F4	350.00	195.03	19503.16344	93.21	1.5	1.25	1.5	26.72	87.76
F3	250.00	215.59	21559.40246	103.04	1.5	1.25	1.5	29.54	97.02
F2	150.00	236.16	23615.64148	112.86	1.5	1.25	1.5	32.36	106.27
F1	50.00	256.72	25671.88049	122.69	1.5	1.25	1.5	35.17	115.52
A1	50.00	254.45	25444.89796	121.61	1.5	1.25	1.5	34.86	114.50
A2	150.00	229.35	22934.69388	109.61	1.5	1.25	1.5	31.42	103.21
A3	250.00	204.24	20424.4898	97.61	1.5	1.25	1.5	27.98	91.91
A4	350.00	179.14	17914.28571	85.62	1.5	1.25	1.5	24.54	80.61
A5	445.00	155.30	13976.63265	66.80	1.5	1.25	1.5 </td <td>19.15</td> <td>69.88</td>	19.15	69.88

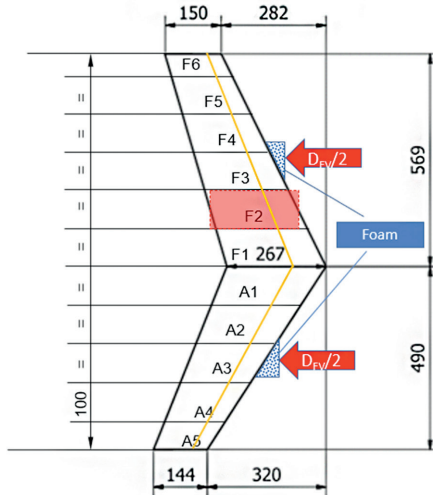


Figure 19.  
Load distribution along the fin (FV) [the author]

The  $c_m$  of the profile is a small but no zero value, [3, p. 16]  $c_m = 0.02$  and the distance of the AC from the leading edge (LE) at  $\alpha = 15^\circ$  is 22%. The twist moment for each segment can be calculated as follows:

$$M = c_m q MC A \tag{25}$$

On this base, the necessary distance from the LE to create a twist can be calculated (orange numbers in Table 3) as a sum of the moments from the tip to the root (summary column in Table 3).

$$l = MR/L' + c_m MC \quad (26)$$

Figure 19 shows the location of each strip. The orange line shows the location of the centre of gravity of the applied loads. The red rectangle shows the equivalent area of the particular strip. Due to the small value of the Drag, it is not necessary to apply it as a distributed load along the entire span. For simplifying  $D_{FV}/2 = 6 \text{ kg}$  values (the 1.5 load factor of § 351, the safety factor of 1.25 as per § 619 and 1.5 as per § 303 already considered) shall be applied at halves of spans (bottom 245 mm and top 298 mm) from the root of the FV rearwards in its plane due to the assumption of an angular distribution. It is recommended to use a 100 mm wide strap and hard foam substrate when applying the load.

### 3.3. Determination of necessary data for tailboom strength test

The details of calculations are comprised by their particular document. Only the results are stated here:

- according to LTF-ULH.341, 413, the stabiliser shall be examined for the case of  $V_{NE}$  (120 KTAS supposed) with a 10 m/s wind gust from above. In this case the Lift on the stabiliser is  $L_{SV} = 825.35 \text{ N}$ ;
- according to LTF-ULH.351, the lateral loads on the fin in case of the LTF-ULH.351 a) assumes a slip angle of 15 degrees at  $V_{NE}$  has given the higher lift value  $L_{FV} = 533.46 \text{ N}$  what shall be multiplied by the 1.5 factor of LTF-ULH.351 so this  $L_{FV} = 800.19 \text{ N}$ . As we can see, the side force on the fin is higher than the maximum thrust of the TR.

### 3.4. Summary of results

The load test of the tailboom can be executed as shown in Figure 20. In this case, we supposed the simultaneous existence of a sudden and maximum pedal deflection and a 10 m/s downstream at  $V_{NE}$ . The moment distributions on the Figure 20 are only illustrative because there are two struts even at the mounting of the horizontal stabiliser.

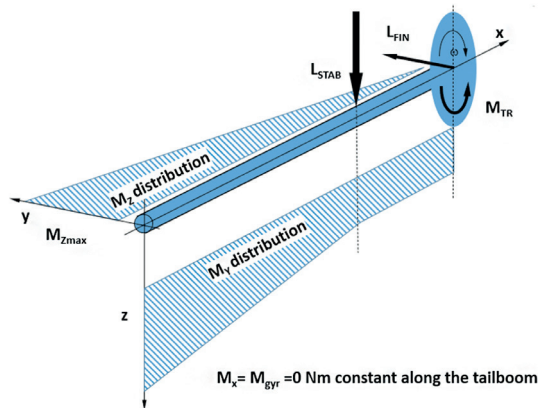


Figure 20.  
Loads on the tailboom [the author]

For the load test, the safety factor 1.5 required by LTF-ULH.303 and the factor 1.25 required by LTF-ULH.619 must be considered. The  $M_{TR}$  contains the safety factor of 2 as per ULH.337. By this way, the forces to be applied during the strength test of the tailboom are:

- a)  $L_{FIN} = 1261.025 \text{ N}$  (1.5  $\times$  1.25  $\times$  1.5 factors included)
- b)  $L_{STAB} = 1547.529 \text{ N}$  (1.25  $\times$  1.5 factors included)
- c)  $M_{TR} = 68.644 \text{ Nm}$  ( $\times$  2 factor included, concentrated on the TGB)

The loads in a) and c) points above and the loads in points b) and c) shall be applied simultaneously. All loads shall be applied at least for 3 seconds.

## 4. Conclusion

Designing load tests requires a thorough knowledge of the specifications and the aircraft structure. In addition, the design of the load tests is greatly influenced by the load cases that may occur simultaneously and the technical possibilities for simulating them simultaneously, since it is useful to test everything in situ without dismantling. In this case, the interaction of the loads on the different structural elements must also be taken into account. Therefore, it is advisable to start the load tests when the prescribed loads of all the elements to be tested have been established.

## References

- [1] D. Szilágyi, *Definition of maximum achievable  $n_z$  coefficient*. HungaroCopter Report No EX330, 2023.
- [2] Drawing No. HC02.2HS-55-10, HungaroCopter Ltd. 2023.
- [3] NACA TECHNICAL NOTE 3361.
- [4] Gy. Szelestey, *Helikopterek I*. MGF Nyiregyháza 1985.
- [5] Airfoil Tools, *Airfoil Catalogue data of NACA 2412*. Online: <http://airfoiltools.com/polar/details?polar=xf-naca1412-il-1000000>
- [6] Airfoil Tools, *Airfoil Catalogue data of NACA 2414*. Online: <http://airfoiltools.com/polar/details?polar=xf-n2414-il-1000000>
- [7] Л. С. Вильдгрубе, *Вертолеты. Расчет интегральных аэродинамических характеристик и летно-технических данных*. Москва, Машиностроение, 1977.
- [8] J. Rohács, Zs. Gausz, T. Gausz, *Aerodinamika*. BME. Online: <http://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/3252>
- [9] P. A. Янг, *Теория и расчет геликоптера* ОБОРОНГИЗ. 1951.
- [10] Certification Programme No: DX001 HungaroCopter Ltd. pp. 16. 2023.
- [11] Drawing No. HC-02.2 VS-55-30-01-V01, HungaroCopter Ltd. 2022.
- [12] Drawing No. HC-02.2 HS-55-10-09-V01, HungaroCopter Ltd. 2023.
- [13] Declaration of the manufacturer.

---

## ***Ultrakönnyű helikopter vizsgálati terheléseinek meghatározása***

*Az utóbbi időben hazánkban egyre több fejlesztési tevékenység folyik, alapvetően saját erőből. Néhány ígéretes konstrukció, így a HC02.2 helikopter is lassan eljut a típusalkalmassági vizsgálatok mérföldkövéhez. Az ezzel kapcsolatos szilárdsági vizsgálatok tervezésének kérdéseivel foglalkozik ez a cikk egy konkrét példán keresztül.*

**Kulcsszavak:** *helikopter, szerkezeti terhelések, típusalkalmasság, terhelési esetek, aerodinamikai erők, terhelési próba*

---

Dr. Szilágyi Dénes  
egyetemi docens  
Nyíregyházi Egyetem  
Műszaki és Agrártudományi Intézet  
Közlekedéstudományi és Infotechnológiai  
Tanszék  
[szilagyι.denes@nye.hu](mailto:szilagyι.denes@nye.hu)  
[orcid.org/0000-0001-6055-0010](https://orcid.org/0000-0001-6055-0010)

---

Dénes Szilágyi, PhD  
Associate Professor  
University of Nyíregyháza  
Institute of Engineering and Agriculture  
Department of Transportation and  
Infotechnology  
[szilagyι.denes@nye.hu](mailto:szilagyι.denes@nye.hu)  
[orcid.org/0000-0001-6055-0010](https://orcid.org/0000-0001-6055-0010)

---

Ripszám Dóra

## A pilóta nélküli légi járművek jogszerű használatához kapcsolódó büntetőjogi felelősség

*Az utóbbi években a pilóta nélküli légi járművek népszerűsége jelentősen megnövekedett annak köszönhetően, hogy felhasználási lehetőségei rendkívül szélesek. A pilóta nélküli légi járművek jogszerű használatának büntetőjogi felelőssége kapcsán két bűncselekmény jön számításba.*

*Amennyiben nyílt megfigyelés vagy felvételtörzítés történik, akkor a személyiségi jogok sérelmének polgári jogi szankciói alkalmazhatók, ha pedig e jogosulatlan adatkezelés – eredményként – jelentős érdeksérelmet okoz, akkor a Btk. 219. § (1) bekezdése szerinti személyes adattal visszaélés vétsége állapítható meg. A titkos megfigyelésre pedig a tiltott adatszerzés átfogó tényállása alkalmazandó [Btk. 422. § (1) bekezdés b) pont].*

**Kulcsszavak:** pilóta nélküli légi jármű, tiltott adatszerzés, személyes adattal visszaélés

### 1. Bevezetés

Az emberiség történelme folyamán minden „fontosabb” időszakot egy-egy találmány, felfedezés tett örök emlékvé, és nem utolsósorban ezek alapozták meg a következő időszak fejlődésének ívét [1, p. 171].

A pilóta nélküli légi járművek,<sup>1</sup> mint sok más – a polgári életben is alkalmazott – eszköz, a háborús konfliktusok eredményeképpen létrejött technikai fejlesztések közül valók [2, p. 25].

Az utóbbi években a pilóta nélküli légi járművek népszerűsége rohamosan megnövekedett köszönhetően annak, hogy felhasználási lehetőségeiknek szinte csak a képzelet szab határt [3, p. 179]. Azonban használatuk során fontos a jogszabályi előírásoknak való megfelelés.

A pilóta nélküli légijármű-használat jogosulatlan jellegét nem definiálja sem a szabálysértésekről, a szabálysértési eljárásról és a szabálysértési nyilvántartási rendszerről szóló 2012. évi II. törvény (továbbiakban Szabs. tv.), sem pedig a Büntető Törvénykönyvről

<sup>1</sup> A Bizottság (EU) pilóta nélküli légijármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légijármű-rendszerek harmadik országbeli üzembentartóiról szóló 2019/945 számú felhatalmazáson alapuló rendelete (2019. március 12.) 3. cikk 1. pont: „a »pilóta nélküli légi jármű (UA)«: bármely olyan légi jármű, amely a fedélzetén tartózkodó pilóta nélkül üzemel, vagy amelyet ilyen üzemmódra terveztek, és amely önálló vagy távirányítással történő üzemelésre képes”.

szóló 2012. évi C. törvény (továbbiakban Btk.), így csupán keretjellegről beszélhetünk. A „reptetés” jogszerűségének kérdésében csak a magyar légtér igénybevételéről szóló 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet (továbbiakban Lhr.) alapulvételével lehet állást foglalni. Az Lhr. 9/A. § (1) bekezdése alapján „[j]ogosulatlanul veszi igénybe a magyar légtér<sup>2</sup> az a pilóta nélküli légi jármű, amely a légtér igénybevételére a pilóta nélküli légi jármű üzemeltetésére, használatára vonatkozó jogszabályi előírásokat nem tartja meg”. A drónhasználat jogszerűtlenségét eredményezi – egyéb esetek mellett – már önmagában az, ha az a légi közlekedés és a pilóta nélküli légi jármű üzemeltetésére vonatkozó jogszabályokat sérti, és ezzel a légi közlekedés biztonságát vagy a magánélet sérthetlenségét veszélyezteti, illetve, ha annak célja egyébként jogellenes. [4, p. 106].

Nem szükséges engedély, ha a pilóta nélküli légi jármű használata sport- vagy más magáncélból történik [Lt. 71. § 10. pont e) pont], ugyanakkor ez a szabály nem jelenti azt, hogy a magáncélú használat semmilyen, a magánszféra védelmét szolgáló igazgatási korlátozásnak ne lenne alávetve, a légi közlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény (továbbiakban Lt.) 5. § (3) bekezdése szerint a pilóta nélküli légi jármű használatával végrehajtott művelethez lakott terület<sup>3</sup> felett eseti légtér kijelölése szükséges [4, p. 106]. Kivételt képeznek ez alól a pilóta nélküli játék légi járművek, amelyeket – többek között – az különböztet meg a többi eszköztől, hogy nincs rajtuk olyan érzékelő (kamera, mikrofon), amellyel személyes adatok rögzíthetők lennének [5, p. 34].

## 2. A jogszerű pilóta nélküli légi jármű-használattal kapcsolatos jogszerűtlen magatartások rendszere

A jogszerű pilóta nélküli légi jármű-használathoz kapcsolódó felelősségi struktúra a hatályos jogszabályok tükrében a következők szerint alakul:

- amennyiben nem titkos, hanem nyílt megfigyelés vagy felvételrögzítés történik, akkor a személyes jogok sérelmének polgári jogi szankciói alkalmazhatók, ha pedig e jogosulatlan adatkezelés – eredményként – jelentős érdeksérelmet okoz, akkor a Btk. 219. § (1) bekezdése szerinti személyes adattal visszaélés vétsége állapítható meg;
- a titkos megfigyelésre – egyébként jogszerű drónhasználat esetén is – a tiltott adatszerzés átfogó tényállása alkalmazandó [Btk. 422. § (1) bekezdés b) pont] [4, pp. 103–104].

Nyílt megfigyelés esetén a személyek tisztában vannak vele, hogy megfigyelik őket, míg titkos megfigyelés esetében épp ellenkezőleg.

<sup>2</sup> A légi közlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény 71. § 32. pontja értelmében: „magyar légtér: Magyarország feletti légtérnek a légközlekedés számára – a mindenkori legfejlettebb technikai színvonal alapján – fizikailag igénybe vehető magasságig terjedő része.”

<sup>3</sup> Lakott terület: a települések közigazgatási területének belterületi része, valamint az övezeti besorolástól függetlenül minden olyan külterületi településrész, ahol emberek életvitelszerűen élnek. Lásd Go2fly: Lakott terület / Urban Area – mit takar drónos szemmel e fogalom? Elérhető: <https://go2fly.hu/lakott-terulet-urban-area-mit-takar-dronos-szemmel-e-fogalom/>

### 3. Személyes adattal visszaélés

A Btk. 219. § (1) bekezdése kimondja, hogy

„[a]ki a személyes adatok védelméről vagy kezeléséről szóló törvényi vagy az Európai Unió kötelező jogi aktusában meghatározott rendelkezések megszegésével haszonszerzési célból vagy jelentős érdeksérelmet okozva

a) jogosulatlanul vagy a céltól eltérően személyes adatot kezel, vagy

b) az adatok biztonságát szolgáló intézkedést elmulasztja,

vétség miatt egy évig terjedő szabadságvesztéssel büntetendő.” [6]

Az adatkezelés fogalmát, illetve részletes szabályait – ideértve a személyes adatok biztonságát szolgáló adatkezelési kötelezettségeket – az információs önrendelkezési jogról és az információszabadságról szóló 2011. évi CXII. törvény (továbbiakban Infotv.) és az Európai Parlament és a Tanács 2016. április 27-i (EU) 2016/679 rendelete a természetes személyeknek a személyes adatok kezelése tekintetében történő védelméről és az ilyen adatok szabad áramlásáról, valamint a 95/46/EK irányelv hatályon kívül helyezéséről (általános adatvédelmi rendelet) (továbbiakban GDPR) rendelkezései határozzák meg [7, p. 298].

A személyes adat eszmei kategória (annak tárgyasult, rögzített formájában is), amelynek fogalmát a GDPR 4. cikk 1. pontja és az Infotv. 3. § 2. pontja határozza meg [8]. Személyes adatnak minősül az azonosított vagy azonosítható természetes személyre vonatkozó bármely információ. Azonosítható az a természetes személy, aki közvetlen vagy közvetett módon, különösen valamely azonosító, például név, online azonosítószám, helymeghatározó adat (tipikusan lakcím), vagy a természetes személy testi, fiziológiai, szellemi, gazdasági, genetikai, kulturális vagy szociális azonosságára vonatkozó egy vagy több tényező alapján azonosítható [9, 4. cikk (1)]. A bűncselekmény sértettje e személyes adat által érintett természetes személy, a személyösszesség és jogi személyek adatai a tényállás szempontjából nem relevánsak [8].

A Btk. 219. § (1) bekezdés a) pont szerinti fordulat elkövetési magatartása a jogosulatlan vagy céltól eltérő adatkezelés, amely aktív magatartással valósítható meg. Az adatkezelés fogalmát a GDPR 4. cikk 2. pontja és az Infotv. 3. § 10. pontja határozza meg, annak jogalapját a GDPR 6. cikk (1) bekezdése és az Infotv. 5. § (1) bekezdés adja meg, e jogalapok hiányában történő adatkezelés jogtalannak minősül, és ezáltal tényállásszerű [8]. Az Infotv. 3. § 10. pontja szerint

„adatkezelés: az alkalmazott eljárástól függetlenül az adaton végzett bármely művelet vagy a műveletek összessége, így különösen gyűjtése, felvétele, rögzítése, rendszerezése, tárolása, megváltoztatása, felhasználása, lekérdezése, továbbítása, nyilvánosságra hozatala, összehangolása vagy összekapcsolása, zárolása, törlése és megsemmisítése, valamint az adat további felhasználásának megakadályozása, fénykép-, hang- vagy képfelvétel készítése, valamint a személy azonosítására alkalmas fizikai jellemzők (pl. ujj- vagy tenyérnyomat, DNS-minta, iriszkép) rögzítése” [10, p. 298].

Abban az esetben jogosulatlan az adatkezelés, ha annak törvényi feltételei nem állnak fenn, vagy ahhoz az érintett nem járult hozzá. Kétség esetén azt kell vélelmezni, hogy az érintett nem adta meg hozzájárulását [11, p. 267]. Az adatkezelés mindenkor célhoz kötött (a célhoz

kötöttség elvéhez és szabályaihoz lásd GDPR 6. cikk és Infotv. 4. §), így a megfelelő joggal történő adatkezelés is tényállásszerű lesz, ha az a céljától eltérően történik [8].

A Btk. 219. § (1) bekezdés b) pont szerinti fordulat az adatok biztonságát szolgáló intézkedés elmulasztásával valósul meg (különböző technikai és szervezési intézkedések, eljárások kialakítása – részletesen lásd GDPR 32. cikk és Infotv. 25/I. §). Az alternatív elkövetési magatartások további két alternatív tényállási elem megvalósulása esetén vezetnek büntetendőséghez; a magatartásoknak vagy jelentős érdeksérelmet kell okozniuk, vagy – érdeksérelm hiányában – haszonszerzési célból kell azokat kifejteni [8].

A jelentős érdeksérelmnek a sértetti oldalon kell beállnia, és annak objektíve be is kell következnie, tehát nem elég a bekövetkezés veszélye, továbbá fontos a személyes adatok kezelésére vonatkozó jogszabályi előírások és a jelentős érdeksérelm bekövetkezése közötti okozati összefüggés bizonyíthatósága is, mivel az okozati összefüggés hiányában a bűncselekmény nem valósul meg [12, p. 408].

A haszonszerzési célzat lehet például az anyagi előnyért történő adattovábbítás, amelyben az még nem feltételezi a jelentős érdeksérelm bekövetkezését [8].

Ha személyes adat jogosulatlan, vagy céltól eltérő kezelése (például pilóta nélküli légi járművel felvétel készítése, akár repülési engedéllyel rendelkezik az elkövető, akár nem, akár lakott területen követik el, akár nem, akár egyszeri, egyedi képfelvétel készül, akár tartós megfigyelés történik) jelentős érdeksérelmet okoz, az személyes adattal visszaélésként (Btk. 219. §) büntetendő [13].

## 4. Tiltott adatszerzés

A Btk. 422. § (1) bekezdése szerint

„[a]ki személyes adat, magántitok, gazdasági titok vagy üzleti titok jogosulatlan megismerése céljából [...]

b) más lakásban, ahhoz tartozó egyéb helyiségében vagy az azokhoz tartozó bekerített helyen történetek technikai eszköz alkalmazásával titokban megfigyeli vagy rögzíti, [...]

bűntett miatt három évig terjedő szabadságvesztéssel büntetendő.” [6]

A pilóta nélküli légi járművek nyújtotta technikai lehetőség olyan mértékben változtatta meg a magánszféra megismerésének lehetőségét, amelyre figyelemmel a magánterület, a magánlakás, a magánszféra védelme hétköznapi eszközökkel már nem biztosítható [4, p. 103].

A lakásban, egyéb helyiségben, vagy az ezekhez tartozó bekerített helyen történetek technikai eszközökkel való megfigyelése vagy rögzítése elsősorban olyan optikai, elektronikai eszközöknek a sértett lakásában, az ő tudta nélkül történő elhelyezését jelenti, amely alkalmas arra, hogy a lakásban történő cselekményeket, beszélgetéseket stb. rögzítse. A megfigyelés nem csupán lakáson belül, hanem azon kívül elhelyezett technikai eszközzel is lehetséges [14, p. 569].

Lakásnak minősül minden olyan zárt hely, amely emberek tartózkodási helyeül és rendszeres éjjeli szállásául szolgál, akár ingó (lakókocsi, sátor), akár ingatlan. Az éjjeli szállásra való alkalmasságot rendeltetésszerű lehetőségként kell értelmezni. A lakásnak nem szükségszerű

ismérve, hogy ténylegesen lakott legyen, de annak feltétele a lakhatásra rendeltség (a lakás fogalma így kiterjed az olyan helyiségre is, amelyet csak az év meghatározott szakában használnak erre a célra [például hétvégi ház, nyaraló]), továbbá az ítélkezési gyakorlat alapján a büntetőjogi védelem kiterjed azokra a helyiségekre – így a kollégiumi vagy szállodai szobára is –, amelyek átmeneti tartózkodásra szolgálnak. Az egyéb helyiség körébe tartozik egyrésztől a lakás fogalma alá nem eső, emberi tartózkodási helyként szolgáló olyan zárt épületrész, amely gazdasági tevékenység végzésére szolgál (például üzlethelyiség, műhely), függetlenül attól, hogy a lakással kapcsolatban áll vagy sem, másrésztől egyéb helyiségnek tekintendő minden olyan helyiség, amely a lakással szoros összeköttetésben áll, ahhoz tartozik (például padlás, pince, erkély). A bekerített hely az a falakkal, kerítéssel, élősövényvel vagy más módon körülhatárolt terület, amely a lakás vagy egyéb helyiség rendeltetésszerű használatát segíti elő, azt egészíti ki, és ezáltal szorosan hozzá tartozik (például udvar, kert), így tehát olyan területről van szó, ahova csak a bemenetelre szolgáló eszközök rendes használata révén (például ajtó, kapu) lehet szabályszerűen bejutni [15]. Büntetőjogi szempontból az irreleváns, hogy a sértett milyen jogcímen használja az ingatlant: tulajdonosa vagy bérlője annak [14, p. 569].

Nem tényállásszerű a munkahely, a gyárépület, a telephely stb. megfigyelése és az ott történtek rögzítése [8].

Megfigyelésen az ottani cselekmények, azaz személyek mozgásának, szóbeli megnyilvánulásainak, viselkedésének, illetve azok hiányának (például gesztusok) az érzékszervekkel való huzamosabb ideig tartó észlelését, rögzítésen pedig a fentiek kép- és/vagy hangrögzítő eszközökkel való felvételét értjük [14, p. 569].

A Btk. 422. § (1) bekezdés *b*) pontja esetében a magánlakásban történtek technikai eszközökkel való megfigyelése, illetve rögzítése – mint láthattuk – történhet optikai eszközök, illetve elektronikai eszközök igénybevételével. A megfigyelés és a rögzítés külön-külön is tényállásszerű magatartások lehetnek, így tehát alternatív magatartásoknak minősülnek. Amennyiben a technikai eszköz pilóta nélküli légi jármű, felmerül a Btk. 422/A. §-a szerinti bűncselekmény megállapíthatósága is, abban az esetben, ha a Btk. 422. § (1) bekezdés *b*) pontjához szükséges célzat nem állapítható meg. Ilyenkor is az elkövetési magatartásnak jellemzője a titkosság, ennek hiányában (például, ha az érintett még a megfigyelés megkezdése előtt észleli a technikai eszközt) a kísérlet lehet irányadó [8].

## 5. Összefoglalás

A pilóta nélküli légi jármű jogszerű használatához kapcsolódó jogszerűtlen magatartások szempontjából két büntetőjogi tényállás bír relevanciával. Ezek a személyes adattal visszaélés és a tiltott adatszerzés.

Napjaink rendkívül gyorsan változó világa a társadalmaktól és annak tagjaitól állandó alkalmazkodást kíván, állandósult adaptációkényyszerben élünk. A próbatételek részben globálisak, részben – bár összefügg a globalitással, hatásukat illetően inkább – helyi jellegűek. Az adott ország alkalmazkodásának mikéntje (például gyorsasága) függ az érintettségétől, de ugyanígy a reagálás nemzetközi és hazai politikai konstelláció érdekharcának függvénye is, nem utolsósorban pedig szellemi és anyagi források megléte is feltétele [16, p. 36]. Nincs ez másképp a pilóta nélküli légi járművek használatához kapcsolódó jogi kérdések terén sem.

## Felhasznált irodalom

- [1] Csóré A., Major G., „A pilóta nélküli légi járművek (UAV) evolúciója,” *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 1. sz. pp. 171–191. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.13>
- [2] Palik M., *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013.
- [3] Török Á., „A pilóta nélküli légi járművek légtérbe integrálása,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 3. sz. pp. 179–188. 2017.
- [4] Gál A., Szomora Zs., „A drónnal történő megfigyelés kriminalizálása, mint a büntetőjogi magánszféravédelem kiterjesztése,” *FORVM Acta Juridica et Politica*, 11. évf. 3. sz. pp. 101–108. 2021.
- [5] Sándor Zs., Pusztai M., „A hazai pilóta nélküli légi jármű-rendszerekre vonatkozó szabályozás EU-s jogszabályoktól való eltéréseinek bemutatása,” *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 1. sz. pp. 27–37. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.3>
- [6] A Büntető Törvénykönyvről szóló 2012. évi C. törvény. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1200100.tv>
- [7] Görgényi I. et al., *Magyar Büntetőjog. Különös Rész*. Budapest, Wolters Kluwer Hungary Kft., 2020.
- [8] Karsai K., *Nagykommentár a Büntető Törvénykönyvről szóló 2012. évi C. törvényhez*. Budapest, Wolters Kluwer Hungary Kft., 2020.
- [9] Az Európai Parlament és a Tanács 2016. április 27-i (EU) 2016/679 rendelete a természetes személyeknek a személyes adatok kezelése tekintetében történő védelméről és az ilyen adatok szabad áramlásáról, valamint a 95/46/EK irányelv hatályon kívül helyezéséről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1600679.eup>
- [10] Az információs önrendelkezési jogról és az információszabadságról szóló 2011. évi CXII. törvény. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1100112.tv>
- [11] Blaskó B. et al., *Büntetőjog. Különös Rész I*. Budapest–Debrecen, Rejtjel, 2021.
- [12] Péterfalvi A., Eszteri D., „A személyes adatok büntetőjogi védelme Magyarországon és a Nemzeti Adatvédelmi és Információszabadság Hatóság kapcsolódó gyakorlata,” in *A személyiség és védelme: Az Alaptörvény VI. cikkelyének érvényesülése a magyar jogrendszeren belül*. Görög M., Menyhárd A., Koltay A. szerk. Budapest, Eötvös Loránd Tudományegyetem Állam- és Jogtudományi Kar, 2017, pp. 405–420.
- [13] Belovics E., Molnár G. M., Sinku P., *Büntetőjog II. Különös rész*. Budapest, HVG-ORAC, 2021.
- [14] Deres P., Harangozó A., *Büntetőjog II. Különös rész*. Budapest, Patrocinium, 2016.
- [15] Nagy Z., Tóth M., *Magyar büntetőjog. Különös rész*. Budapest, Osiris, 2014.
- [16] Nagy Z. A., „A jövő tegnap óta tart: A modern technikai-technológiai folyamatok kihívásai a jog területén,” *Belügyi Szemle*, 66. évf. 10. sz. pp. 36–55. 2018. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2018.10.3>

---

## ***Criminal Liability Related to the Lawful Use of Unmanned Aircraft***

*In recent years, the popularity of unmanned aircraft has increased significantly due to the fact that their possibilities of use are extremely wide. In connection with the criminal liability for the lawful use of drones, two criminal offences come into account. If open surveillance or recording takes place, civil sanctions for violation of personality rights may be applied, and if this unauthorised data processing causing significant harm to interests as a result, an offence of misuse of personal data pursuant to Section 219 (1) of the Criminal Code may be established. Secret surveillance is subject to the comprehensive facts of illegal data acquisition (Section 422 (1) (b) of the Criminal Code).*

**Keywords:** *unmanned aircraft, illegal data acquisition, misuse of personal data*

---

Dr. Ripszám Dóra  
fiatal büntetőjogász képviselő  
Nemzetközi Büntetőjogi Társaság magyar  
nemzeti csoportja  
Óraadó  
Pécsi Tudományegyetem  
Állam- és Jogtudományi Kar  
Büntetőjogi Tanszék  
[ripszam.dora@pte.hu](mailto:ripszam.dora@pte.hu)  
[orcid.org/0009-0002-9948-4852](https://orcid.org/0009-0002-9948-4852)

---

Dóra Ripszám, PhD  
President of Young Penalists  
Assotiation Internationale de Droit Pénal  
Hungarian National Group  
Lecturer  
University of Pécs  
Faculty of Law  
Department of Criminal Law  
[ripszam.dora@pte.hu](mailto:ripszam.dora@pte.hu)  
[orcid.org/0009-0002-9948-4852](https://orcid.org/0009-0002-9948-4852)

---



Mihályi Géza

## Az UAV-pályatervezés kihívásai és lehetséges megoldásai

*Kutatásom során az UAV-pályatervezés nehézségeit és kihívásait vizsgáltam. Bemutatom az esetlegesen felmerülő legismertebb problémákat. Ilyen lehet a „pontoszerű test”-probléma (Point Vehicle) vagy a „kocogó”-probléma (Jogger’s Problem). Bemutatom a legismertebb és jelen tudásunk szerint leghatásosabb, State-of-Art<sup>1</sup> megoldásokat is, mint a Visible Graph vagy az A\* alapú algoritmusok.*

**Kulcsszavak:** pályatervezés, A\* algoritmus, Q-Learning, UAV, önvezető

### 1. Bevezetés

UAV<sup>2</sup>-kat már használtak az 1800-as évek közepén is, de akkor még nem úgy néztek ki, mint a mai drónok, főleg hőlégballonok voltak, amelyeket felderítésre és gyakorlásra használtak. De térjünk vissza időben a 2013-as évbe, amikor a drónok a köztudatban is egyre ismertebbek lettek. Az Amazon cég ugyan bejelentette, hogy drónokat fog használni a termékek szállításához, ez a mai napig sem történt meg. Ám például Afrikában arra is láthatunk példát, hogy drónokkal oldják meg a vér-, illetve eszközszállítást. A módszer költséghatékonyabb, mint a helikopter, és gyorsabb, mint a mentőautó. A másik előny, hogy az UAV elér olyan helyekre is, ahová hagyományos úton nem, vagy csak nehezen tudnánk eljutni [1], [2]. A Goldman Sachs 2016-os előrejelzése szerint a globális drónpiac 2020-ra eléri a 100 milliárd USD értéket, amiből 70 milliárdot jósoltak a katonaságnak, 17 milliárdot az átlagos vásárlónak, azoknak, akik hobbiból építenek drónokat, és 13 milliárdot vállalatoknak [3]. A Statista egy újabb, 2021-es kutatása szerint 2021-ben a globális kereskedelmi drónpiac eléri a 26,3 milliárd USD értéket. A 2026-os előrejelzések szerint ez az érték elérheti a 41,3 milliárd USD-t [4]. Ahhoz, hogy az ilyen és ehhez hasonló drónok akár szállítási, akár katonai céloknak megfeleljenek, kell hogy legyen bennük önvezető képesség, aminek fontos része a pályatervezés.

<sup>1</sup> Legkorszerűbb.

<sup>2</sup> Unmanned Aerial Vehicles – pilóta nélküli repülőgép.

## 2. Problémafelvetés, motiváció

Hogy a drón eljusson A pontból B pontba, jól meghatározott utat kell követnie. Miután ezt az utat meghatározta, az útvonalat folyamatosan frissítenie kell, mivel a városi vagy akár a katonai terep kiszámíthatatlan terep. A drón utat tervez, de a környezetét részben vagy egyáltalán nem ismeri, emiatt folyamatosan alkalmazkodnia kell hozzá. A legtöbb esetben erről van szó, a valós repülés során ritka a statikus közeg, ahol az UAV az előre meghatározott úton tudna haladni. A dinamikusan változó környezetekre hozott megoldást Xiaojian Hou és csapata [5], akik a mesterséges intelligenciát, azon belül is a megerősítéses tanulást hívták segítségül, abból is a fejlesztett Q-Learning algoritmust (a későbbiekben részletesebben is szó lesz róla).

Ahhoz, hogy a drónokat elfogadja a társadalom, biztonságossá/biztonságosabbá kell tenni őket. Városon felüli repülésnél több komolyabb baleset is történhet, ami rosszabb esetben emberéleteket is követelhet, jobb esetben magántulajdont károsíthat. Minden ilyen baleset minimalizálásának céljából Quan Shao és csapata cost-benefit assessment modellt<sup>3</sup> készített, amely vizsgálja a veszély lehetőségeit és a szolgáltatás előnyeit [6]. Ezenkívül általános értelemben az egyik leghasznosabb ütközéselemző modell a The Longitudinal Reich Collision Risk Model,<sup>4</sup> amelyet az előbb említett kutatásban is használnak, és használják nem csak drónok esetén, hogy megállapítsák, mekkora az esélye, hogy két légi jármű ütközik egymással. A modellt egy kutatócsoport fel is használta, hogy kiderítse, mekkora valószínűséggel ütköznek össze a repülők leszálláskor [7]. Motivációmul szolgál, hogy mindezen ismeretekkel, mind a saját programozói tudásommal együtt szimuláljak egyes algoritmusokat, és megpróbáljam továbbfejleszteni őket.

## 3. Szakmai-tudományos előzmények

Annak eldöntésére, hogy melyik útkereső algoritmus a legjobb, régóta keresik a választ, több összehasonlító kutatás készült már a témában, mint például B. Moses Sathyaraj és csapata munkája, amelyben összehasonlítottak több algoritmust is, köztük a Distance Vector algoritmust,<sup>5</sup> a Floyd-Warshall's algoritmust, illetve a manapság egyik legjobban elterjedtet, az A\* algoritmust. A kutatásban megállapítják, hogy a BFS<sup>6</sup> akkor is abba az irányba halad tovább a cél felé, amikor már látszik, hogy nem az a legrövidebb irány, illetve, hogy az A\* algoritmus mindig megtalálja a legrövidebb utat [8]. Egy 12 évvel későbbi kutatásban Shubhani Aggarwal és Neeraj Kumar hasonlóval állnak elő, ahol megvizsgálják különböző koncepciójukat elméletben. Ez a kutatás modernebb, abban az értelemben, hogy az újabb technológiákat is vizsgálja, mint például a mesterséges intelligencia lehetőségeit. Ez a kutatás kitér a pályatervezés nehézségeire és a megoldásaira is, illetve jövőbeni kihívásaira is. A kutatásban felvetődik, hogy milyen jövőbeli kutatásokat lenne célszerű követni [9]:

<sup>3</sup> Költség-haszon értékelési modell.

<sup>4</sup> Hosszúsági ütközési modell – ennek a modellnek a segítségével határozzák meg, hogy mekkora eséllyel ütközik össze két légi jármű.

<sup>5</sup> Távolság-vektoros algoritmus – az egyes csomópontok tudják a távolságot közöttük és az összes többi lehetséges csomópont között.

<sup>6</sup> Breadth-First Search – keresési algoritmus, amely először az adott csúcshoz legközelebbi, vele egy szinten lévő csúcsokat vizsgálja át, és csak utána folytatja a keresést mélyebben. Szélességi keresésnek hívják.

- a) habár a pályatervezés hatékonyságára már több kutatás is készült, még mindig tele van kihívásokkal és lehetőségekkel;
- b) talán az egyik legfontosabb a drónok szempontjából, hogy sokáig a levegőben legyenek képesek maradni, emiatt az energiahatékonyságra is nagy hangsúlyt kell fektetni a kutatásokban is. Ezeket jobb akkumulátorokkal vagy újabb megoldásokkal lehetne elősegíteni, mint a napenergia. Napenergiás megoldásra már láthatunk példát;
- c) a drónok közti kommunikációt is fontos lenne kutatni, hogy gyorsabban és vezetékek nélkül tudják átadni egymásnak az információt.

Kisméretű, multirotoros UAV-k városi, illetve katonai műveleti területi repülési pályáinak tervezésével Szabolcsi foglalkozott [10], [11]. Az UAV-k felszálló és leszálló repülési pályáit Szabolcsi vizsgálta, és megadta a lehetséges sikló- és iránypályákat [12], [13].

## 4. A pályatervezés kihívásai

A szakirodalom alapján a szoftveres rendszer legfontosabb eleme a pályatervezés és ennek kutatása, hogy megtalálják az ideális utat a kiinduló helyzet és a célhelyzet között, elsődleges prioritást élvez. A pályatervezési probléma során a drónnak el kell jutnia A helyről B helyre úgy, hogy közben ne ütközzön a környezetében lévő dolgokkal és más drónokkal. A sima 2D-s környezeti ábrázolás nem lenne megfelelő, mert nem lehetne pontosan elhelyezni a környezetben a tárgyakat, az kell, hogy legyen egy 3D-s komplex kép a környezetről. A pályatervező algoritmus eltérő lehet kereskedelmi drónoknál, illetve katonaiaknál. A kereskedelmi forgalomban lévő drónoknál, illetve a szállítási drónoknál három alapelem van: a Motion planning,<sup>7</sup> a Trajectory planning<sup>8</sup> és a Navigation<sup>9</sup>. A katonai drónok abban térnek el, hogy esetükben több a bemeneti paraméter, amit számításba kell venniük, és amivel egy többcélű optimalizálási probléma jön létre.

Fő célja a pályatervező technikáknak, hogy a számítási szükségletet és a számítás idejét lecsökkentsék, amíg a drón megtalálja az optimális utat. Optimálisnak kell lenniük olyan szempontból is, hogy a drón a lehető legkevesebb energiát fogyassza, rövidebb időbe kerüljön, amíg eléri a célig, és ne ütközzön össze közben más drónokkal vagy környezeti tárgyakkal. A pályatervező algoritmusok fő kihívásai a következők [9]:

- a) a pálya hossza: a drón által megtett távolságot jelenti a kiinduló állapotból a végállapotba;
- b) optimalitás: a teljes rendszernek optimálisnak kell lennie, energia, ár és egyéb elvárás tekintetében. Az optimalitást három módon lehet kifejezni: 1. optimális, 2. szuboptimális, 3. egyáltalán nem optimális;
- c) teljesség: akkor nevezzük teljesnek, ha a pályatervezésnél meghatározott feltételeket teljesíti, ha létezik olyan út. Megoldást tár a drón elé, amelyet követnie kell;

<sup>7</sup> Pálya útjának a megtervezése.

<sup>8</sup> Az út megtervezése időben és térben, itt már kalkulálunk a jármű sebességével is.

<sup>9</sup> A kettő egybe illesztése, amikor már a levegőben van, teljesítse a rábízott utat a megadott sebességgel.

- d) költséghatékonyság: több összetevőből áll, és függ a teljes számítási költségtől. Összetevői közé tartozik az üzemanyag ára, akkumulátorok töltésének a költsége, szoftver- és hardverárak;
- e) időhatékonyság: a drón megteszi az adott utat a kiindulóponttól a végpontig ütközés nélkül a minimális idő alatt;
- f) energiahatékonyság: a drón a lehető legkevesebb energiát használja, miközben megteszi útvonalát és számolja a röppályáját a művelet közben;
- g) ütközéskeresülés: a képesség, hogy ha a röppályájába kerül valami, akkor azt kikerülje, és folytassa az útját anélkül, hogy károsodna a szerkezet vagy az elektronika.

Mindezt még az is nehezíti, hogy a legtöbb környezeti tárgyról csak hiányos információink vannak, ami főleg igaz a dinamikusan mozgó tárgyakra, mint az emberek, autók, más drónok. Ezekkel a drónok tervezőszoftverének menet közben kell megküzdenie. Ahhoz, hogy az ilyen tárgyakat felismerje, a különféle szenzorokon kívül a kamera jelent hatalmas segítséget, ami a mesterséges intelligencia fejlődésével gyakorlatilag az önvezető drónok szemévé tud válni, és egy távolságmérő szenzor segítségével meg tudja határozni, hogy az előtte lévő mozgó tárgy milyen messze van, merre mozog. Meg kell még küzdeni a drónok kinematikai és dinamikai kötöttségével is. Az is megállapítható, hogy minden szituáció más, így nehéz egyetlen olyan algoritmust írni, amely megfelelné mindegyiknek. Minden feladathoz specifikus algoritmust kell írni. Mivel a környezet, amelyben működik a drón, ismeretlen, az egyik megoldás, hogy használjunk valamilyen sejtekre lebontó algoritmust.<sup>10</sup>

Nehezítő körülménynek számítanak a légköri zavarok, atmoszferikus zavarok – szinte lehetetlenné teszik, hogy a drón az előre tervezett pályán tudjon haladni, és ott van még a drón állapotának bizonytalansága és a limitált tudásunk a környezetről.

Az UAV-irányítási problémát háromdimenziós problémátérrel, limitált környezeti információval, limitált távolságú szenzorokkal, sebesség- és gyorsasághétkényszerekkel és a szenzor adatbizonytalanságával szokás jellemezni.

Ebben a publikációban [14] a kutatók meghatározták, hogy milyen problémákkal találkozhatunk. Az egyik a statikus, ahol a környezetet ismerjük, a másik pedig a dinamikus, ahol a környezetet nem ismerjük teljesen, vagy változik, ahogy haladunk előre az időben. Amikor a tárgyak fix helyen vannak a térben, akkor időfüggetlennek nevezzük őket, amikor tudnak mozogni, akkor időfüggőnek. Az általános problémák közül megkülönböztetjük a „pontszerű testet” (Point Vehicle), a „kocogó”-problémát (Jogger’s Problem), a „bogár”-problémát (Bug Problem), a „súlyozott régió”-problémát (Weighted Region Problem), az „időben változó tér”-problémát (Time-Varying Environments) és a „sétáló”-problémát (Mover’s Problem).

#### 4.1. „Pontszerű test”-probléma

A jármű egy pontként van modellezve a térben. A konfigurációs tér megegyezik az effektív térrel, amiatt nem kell semmit csinálnia. Az egyik legegyszerűbb probléma, és az optimalitás megegyezik a kezdő- és a végpont távolságával.

<sup>10</sup> Cell Decomposition Method.

## 4.2. „Kocogó”-probléma

A kocogó dinamikai problémájával foglalkozik, amikor a kocogónak limitált a látási tere. A probléma azt reprezentálja, amikor egy jármű/drón változó, időfüggő környezetben mozog, limitált szenzortávolsággal. Optimalitását úgy lehetne meghatározni, ha minimalizálja a repülési időt a kiinduló helyzet és a cél között, vagy minimalizálja valamilyen másik attribútumát, mint például az energiafogyasztását.

## 4.3. „Bogár”-probléma

Különleges változata a „kocogó”-problémának: a jármű betekintési szöge 0. Ilyenkor a járműnek meg kell érintenie, vagy nagyon közel kell kerülnie a tárgyakhoz, hogy érezze őket.

## 4.4. Az „időben változó tér”-probléma

A járműnek el kell kerülnie azokat a tárgyakat, amelyek időben mozognak. Optimális megoldása, hogy minimalizáljuk a megtételéhez szükséges időt vagy az úthosszt.

## 4.5. „Sétáló”-probléma

Akadályokkal teli *mezőn* kell keresztülmenni, hogy elérjük a célt. A járművet merev testnek vesszük. Feltételezzük, hogy az objektumnak nincs semmilyen dinamikai kötése. A probléma a jármű komplexitását vizsgálja hozzáadva az akadálymező komplexitását, majd az ebből következő számot  $m$  vagy  $M$  számnak nevezi.

## 5. Pályatervezés-lépés

A kereskedelmi és szállítási drónoknál a Motion Planning felel az út optimalizálásáért, hogy minimalizálja az út hosszát, a fordulási szöveget és azt a maximális repülési távolságot, amelyet meg tud tenni az üzemanyaggal. A Trajectory Planning kiegészíti a Motion Planning részt azzal, hogy a tervezett úthoz olyan értékeket rendel, mint a sebesség, idő, illetve az UAV kinematikája. A Navigation olyan részekből áll, mint a Motion Planning, Trajectory Planning, ütközésselkerülés és helyzetmeghatározás (lokalizáció). Az alaptervezés két fázisból áll. Az első fázis az úgynevezett pre-processing,<sup>11</sup> azaz előkészületek. Ebben a fázisban a már említett 3D-s környezetre rárajzoljuk a szükséges pontokat és vonalakat, majd a gráfokból álló térképet generálunk [9]. Habár az előző publikációban [9] azt fejtegették, hogy nem lehet, vagy nem olyan pontosan lehet 2D-s környezetben elhelyezni a tárgyakat, addig egy másik publikációban [15] amellett érvelnek, hogy elegendő 2D-ben megtervezni, a 3D-s környezetet pedig a műveleti résznél kell figyelembe venni. A drón különböző útvonalpontok között közlekedik.

<sup>11</sup> Előkészületek: a nyers adatokat tisztítjuk, és a gép számára értelmezhető állapotba hozzuk.

Itt megállapítanak 2 formulát, az egyik a biztonságos távolság a drón és a tárgyak között, ezt  $r_{biztonságos}$ -el jelöljük, illetve a már korábban is említett maximálisan megtehető távolságot. A maximálisan megtehető távolság képlete:

$$L \leq L_{max}, L = \sum_{i=1}^{m-1} l_i \quad (1)$$

Ahol az  $l_i$  a különböző waypointok közötti távolság, az  $L_{max}$  a maximális távolság, az  $m$  pedig az útvonalpontok számát jelöli. Az ütközésmentes úton lévő útvonalpontoknak meg kell felelnie a következő képletnek:

$$\frac{[(x_i - x_k) \cos(\theta) + (y_i - y_k) \sin(\theta)]^2}{(a - r_{biztonságos})^2} + \frac{[(x_i - x_k) \cos(\theta) + (y_i - y_k) \sin(\theta)]^2}{(b - r_{biztonságos})^2} = 1 \quad (2)$$

Ahol a jelölések a következők [15]:

- $x_i, y_i$  – az adott waypointok koordinátái;
- $a, b$  – az ellipszis két féltengelye;
- $\theta$  – a fél nagytengely dőlése;
- $x_k, y_k$  – az adott tárgyak középpontja;
- $r_{biztonságos}$  – a drón és a különböző természeti tárgyak minimális távolsága.

Minden ilyen pályatervező technika és algoritmus ezen pontok és vonalak alapján határozza majd meg az ideális pályát. A második fázis az úgynevezett lekérdezőfázis (*Query*). Ebben a fázisban különböző algoritmusok futnak le, olyanok, mint az ant colony<sup>12</sup> vagy a Floyd–Warshall.<sup>13</sup>

A katonai drónoknál több kitétel van, mert azok ki vannak téve az ellenséges erőknek is; hogy láthatatlanok maradjanak az ellenség számára, el kell hogy kerüljék a radarokat, „láthatatlanná” kell válniuk.

1. Először egy úgynevezett rejtett utat (*Stealthy Path*) kell kialakítania. A rejtett út lényege, hogy úgy kormányozza a drónt, hogy annak radarjelét az ellenséges radarok ne tudják befogni. A feladat nehéz, mert nem minden drónnak ugyanolyan a radarjele, ami azt jelenti, hogy a radar által kibocsátott sugárzást nem ugyanúgy verik vissza, az egyik irányba jobban, mint a másikba. Ha a visszavert jelben valamilyen tüske van, akkor az algoritmusnak el kell irányítania a radaroktól.
2. Másodszer az algoritmusnak meg kell felelnie, hogy a pálya útja minimális legyen azzal együtt, hogy számításba veszi a rejtett utat, miközben kielégíti a repülő dinamikai kényszereit is.

<sup>12</sup> Hangyakolónia: algoritmus, valószínűségszámító módszer, amely a grafikonokon vagy gráfokon keresztül meg tudja találni a jó utakat. A mesterséges hangyák az összes lehetséges megoldást reprezentáló paraméterben mozogva keresik meg az optimális megoldásokat.

<sup>13</sup> Floyd–Warshall-algoritmus: ez az algoritmus megtalálja a legrövidebb utakat egy súlyozott gráfban. Megtalálja az összes csúcspár közötti legrövidebb távolságok hosszát. Végigmegy az élek minden kombinációján, miközben folyamatosan javítja a becslést a két csúcspár közötti legrövidebb útvonalra vonatkozóan, amíg a becslés nem lesz optimális.

3. Harmadszor, a szoftvernek meg kell felelnie a misszió céljának. A gyakorlatban ez a legtöbb esetben azt jelenti, hogy egy akció több drónos támadást tartalmaz, vagyis a szoftvernek figyelnie kell, hogy a drónok egyszerre érjenek célba.
4. A szoftvernek az UAV processzorán kell futnia, hogy ha valamiért a röppályát újra kell tervezni, akkor ezt valós időben (*Real-Time*) tudja megtenni [16].

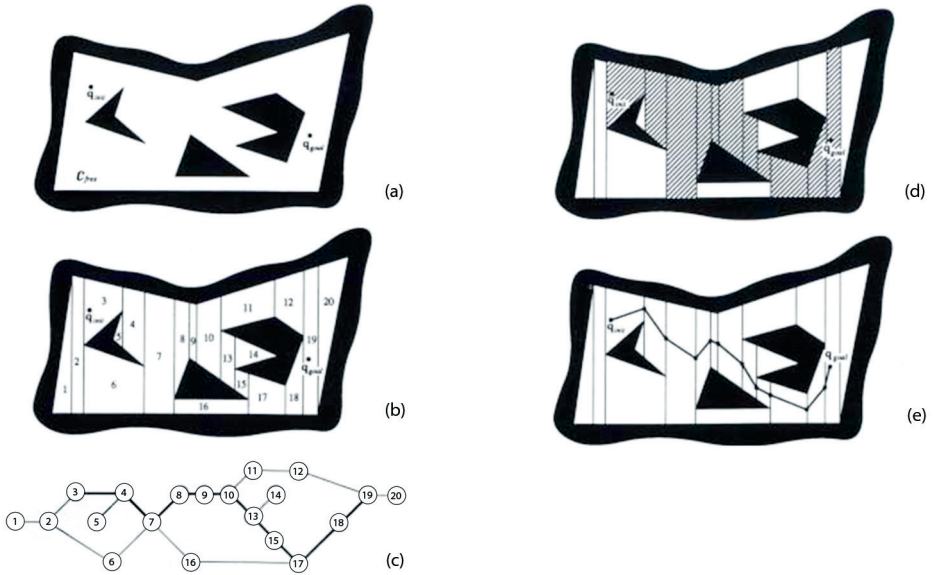
## 6. A pályatervezés egyes megoldásai

Annak érdekében, hogy a számítási szükségletet és idejét lecsökkentsék, különböző publikációk, különbözőképpen osztották fel az adott területet. Például voltak, akik hibrid megosztási technikát alkalmaztak, és a lefedettség területét pontos formákra bontották, háromszögekre. Mások hasonló elvek mentén spirálszerű formákra bontották fel az adott komplex lefedettségű területet [17]. Azonban, ahogy feljebb már írtam, az, hogy milyen algoritmust választunk, attól függ, hogy milyen problémát kell megoldanunk. Például, ha azt szeretnénk, hogy a drón átrepüljön a sivatag felett, vagy az alatta lévő utat kövesse, ahol esetleg kisebb kanyarok vannak, és nincsen zavaró tényező, akkor szükségtelen, hogy olyan algoritmust használjunk, amely belekalkulálja a dinamikus változásokat, mert ezzel csak a számítási igények nőnek. A leggyakrabban használt mérték, amivel meghatározzuk, hogy milyen, mennyire bonyolult algoritmust kell használnunk, azt a térben lévő akadályok határozzák meg. Ezeket általában az akadályok száma alapján határozzák meg,  $N$  számnak nevezik. Arról, hogy milyen mértékeket célszerű alkalmazni, Rhinehart írt ebben a kutatásában [18]. Annak érdekében, hogy egy algoritmust sikeresnek lehessen tekinteni, mind műveleti, mind számítási területen meg kell felelnie. Folyamatosan megfelelő távolságot kell tartania az akadályoktól, sima útvonalat kell követnie, ami mellett figyelnie kell az energiefelhasználásra és a megtett távolságra. Kell egy megbízható, valós időben történő számítás is, amiben nem történnek váratlan késések, mivel csak így lehet biztosítani a műveleti kritériumokat. Emiatt minél kisebbnek kell lennie a számítási komplexitásnak: minél gyorsabb az algoritmus, annál gyorsabban tud reagálni a kialakult helyzetre és változtatni az irányát, műveletét.

A jelenlegi State-of-Art megoldások a következők:

### 6.1. *Sejtekre lebontó algoritmus (Cell Decomposition Method)*

Az alapvető ötlet, hogy az utat a kezdőpont és a végpont között meg lehet úgy is határozni, ha a köztük lévő szabad helyet felbontjuk több kisebb régióra, amelyeket sejteknek (*cells*) hívunk. Az ezután létrejövő kapcsolati gráf az egymással szomszédos sejtek kapcsolatán alapul, ahol is minden sejtet egy csomópont reprezentál a szabad térben. A csomópontok között lévő kapcsolatok megmutatják, mely sejtek szomszédosak egymással. Majd folytonos út jön létre, amelyet ha simán követünk, el tudunk jutni a kiindulópontból a végpontba. A kép hivatott bemutatni, hogyan történik ez meg a gyakorlatban [19].



1. ábra

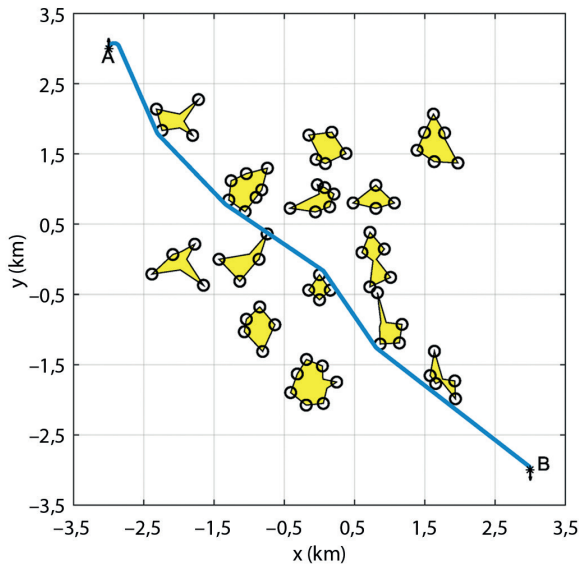
Látható, hogyan történik a sejtekre bontás [19]

A folyamat lépései kifejtve a következők:

- Először fel kell bontani a szabad teret kisebb részekre, ebben a példában sokszögek által van határolva. A sokszögeket felbontjuk háromszögekre, illetve négyszögekre, úgy, hogy párhuzamosokat húzunk a belső alakzatok csúcsaihoz.
- Utána minden sejt, felbontott rész kap egy számot, és mostantól csomópontként lesz ábrázolva a kapcsolati gráfban.
- Az egymással szomszédos csomópontokat a feldarabolt képen összekötjük.
- A kapcsolati gráfból kirajzolódó utat fel lehet vetíteni a feldarabolt képre. A csomópontokhoz tartozó sejteket besatírozva jelölték.
- Ezután a sejthatárolók középpontját összekötötték, és ebből alakult ki az az út, amellyel el lehet jutni a kezdőponttól a végpontig.

## 6.2. Visible Graph – látható gráf

Ez a megoldás kifejezetten a „pontoszerű test”-probléma megoldása. Viszont ezt csak 2D-s környezetben lehet számítani. Az út ebben az esetben úgy alakul ki, hogy az algoritmus „súrolja” a sokszögek csúcsait, majd egy útvonaltervet csinál ezekből a vonalakból, úgy, hogy minden csúcsot összeköt minden csúccsal, amit lát. Mivel a minimális út többször is nagyon közel kerül az akadályokhoz az út folyamán, nem, vagy alig garantál valamilyen baleset-megelőzést olyan környezetnél, ahol valamilyen bizonytalanság van az akadályok pozíciójában. Az illusztráció a következő kutatásban szerepel [20].

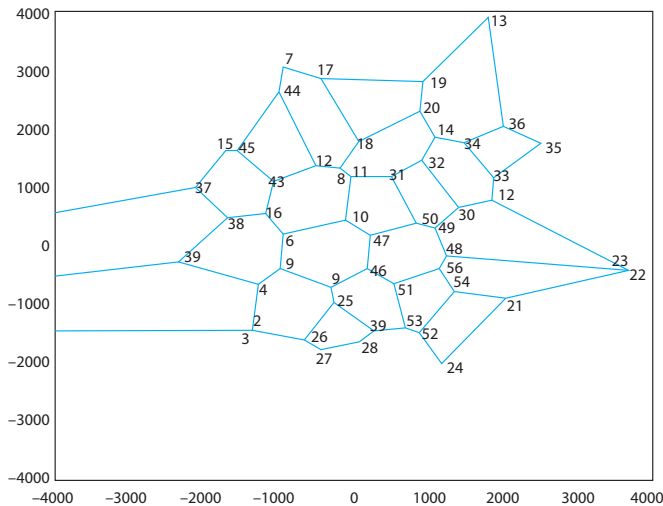


2. ábra

Visible Graph, azaz „látható él”-módszer, amikor a drón egyik élpontból megy a következő látható élpontba [20]

### 6.3. Voronoi Roadmap

Ez a fajta algoritmus épít egy vázat, amely maximális távolságra van az akadályoktól, majd megtalálja a minimális távolságot, amin követni tudja ezt a vázat. Ez az algoritmus is kétdimenziós, viszont próbálták áttenni 3D-be, ami sikerült is, de nem optimális. Voltak kutatások, amelyek hierarchikus Voronoi-gráfot készítettek, amelyet általánosítani lehet több dimenzióra is. A diagram felépítése a következő: van  $N$  darab pont a síkon, és minden szomszédos pont összekapcsolva egy háromszöget alkot. A háromszög minden oldalára merőleges felezőt állítunk, majd ezek a felezők a pontok körül különböző sokszögeket alkotnak. Ezek a sokszögek a Voronoi-sokszögek, és sok ilyen Voronoi-sokszögből lesz a Voronoi-diagram. Amikor a drón repül ezen a diagramon, egy értékelő funkció fut rajta végig, hogy melyik élt kellene használnia ahhoz, hogy optimális legyen az útja, illetve hogy elkerülje a veszélyeket katonai környezetben. Ezt a megoldást gyakran használják a katonaságnál. Az illusztráció a következő kutatásban jelent meg [21].



3. ábra  
Radarveszélyek Voronoi-diagramja [21]

#### 6.4. A-Star-alapú algoritmusok

Régóta használatban van a pályakeresést kutató közösségekben. Elsősorban egyszerűségének és könnyű változtathatóságának köszönhető nagy előnye más algoritmusokkal szemben. Nem túlságosan komplex, cserébe viszonylag nagy tárhelyre van szüksége, hogy tárolja az általa használt adatokat. Determinisztikus algoritmus, amelyet először arra használtak, hogy megtalálja a legrövidebb utat egy 2D-s négyzetrácsban. Iterációs, vagyis a csomópontokból mindig abba az irányba indul el, amerre a legkevesebb az út költsége. Ez a költség, ami most az úthossz, úgy számolódik, hogy a kiinduló csomópont távolsága az adott pontig, plusz az adott pont becsült távolsága a végponttól. Ezt a becsült távolságot heurisztikus távolságnak nevezik. Van néhány ilyen heurisztikus távolság, mint például a Manhattan-távolság. A Manhattan-távolság 2 pont és  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  és  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  között  $n$ -dimenziós térben a pontok távolságának az összege minden dimenzióban.

$$d(x, y) = \sum_i^n |x_i - y_i| \quad (3)$$

Az elnevezés onnan ered, hogy ezt a távolságot teszi meg egy autó egy városban. Szokták még nevezni  $L_1$  és 1-norm távolságnak is [22]. Minél pontosabb ez a becslés, annál gyorsabban működik az algoritmus. Ez az algoritmus mindig megtalálja az optimális megoldást, ha h heurisztika kielégíti a

$$h(x) \leq d(x, y) + h(y) \quad (4)$$

kiegészítő feltételt a gráf minden  $(x, y)$  élére (ahol  $d$  az adott él hosszát jelöli) [23]. Ettől függetlenül, ahogy Daniel Foead és csapata rámutat ebben a kutatásában [24], az A\* algoritmus

nem elegendő magában, több kiegészítő algoritmus is kellhet hozzá. Főleg akkor, amikor többügynökös útkeresési problémát kell megoldani, mert ilyenkor gyakran előfordul, hogy a két ügynök ütközik egymással a nem megfelelő út miatt. A mostani kutatások is az A\*-ral kapcsolatban arról szólnak, hogy lehetne az A\*-t módosítani, hogy tudjon kezelni ügynököt is. A felmerülő megoldás nevét az állatvilágból kapta: rajintelligencia (*Swarm Intelligence*). Az alkalmazásra már példát is láthattunk az Intel-től, amikor az égre küldtek 500 drónt, és fényjátékot mutattak be. A módszer bebizonyította, hogy csökkenti a számítási igényt, azonban ez sem általános megoldás.

### 6.5. „Potenciális mező”-metódus (*Potential Field Method*)

Az előzőektől kicsit eltérően, ámbár kicsit az A\* algoritmushoz hasonlítva, megjelent a Potential Field Method is. Hatalmas előnye, hogy az ismeretlen eseményeken is túl tud lépni, meg tudja őket oldani azzal, hogy az UAV-nek, vagy bármilyen másik önvezető robotnak, számításba veszi a jelenlegi helyzetét és a helyzetének lehetőségeit, realitásait. Ebben a módszerben kétfajta erő lép fel. A vonzó erőket a célok és állomások bocsátják ki, és vannak a taszító erők, amelyeket pedig az akadályok adnak. Az A\*-hoz hasonlóan ez is közkedvelt algoritmus a kutatásokban, mivel egyszerű, és magas biztonsági szinttel dolgozik, illetve használható valós időbeli alkalmazásra is, mivel nincsenek benne bonyolult matematikai képletek, vagyis a számítási idő is kevés. A hatékonyságával kapcsolatban Krogh és Thorpe 1986-ban állítottak fel egy általános „potenciális mező”-metódust, amelyben kombinálják a globális- és a lokálisút-tervezést. Ezenkívül Brooks 1986-ban és Arkin 1989-ben közölt publikációiban valós szenzoradatok és a „potenciális mező”-metódus alapján mozgatták a robotjaikat. Nagyvonalakban úgy kell elképzelni ezt a metódust, hogy az UAV-t pontszerű testnek tekintjük, amelyre hatnak a külső pozitív és negatív erők. Ezeknek az erőknek az összeadásával megkapjuk az úgynevezett eredő erőt, amelynek az irányába a drónunk el fog indulni. Viszont ennek az algoritmusnak nagy hátránya, hogy könnyen a lokális minimumba eshet, és onnan nem tud kijutni sehogyan sem. Pályatervezés során az algoritmusnak el kell döntenie, hogy hogyan mozgassa az UAV-t a kezdő ponttól a végpontig anélkül, hogy ütközne, és az útja folytonos legyen. Ezt az algoritmust gyakran használják olyan eseményeknél, ahol a környezet ismeretlen és dinamikusan változik. Ez, ellentétben az A\* algoritmussal, nem valamilyen matematikai távolságot vesz alapul és az alapján indul el adott irányba, majd korrigálja magát, hanem az erők erőssége számít. Bár a távolság itt is szerepet játszik, mert minél közelebb vagyunk a célhoz, annál erősebb az általa kifejtett erő, és annál jobban húzza be az adott robotot [25]. Viszont ennek is vannak hibái és nem optimális eljárásai:

- a) a lokális minimum elérését csapda szituációnak nevezik, ebben az esetben a drón nem ér el a célig, mert megáll a lokális minimum pontjánál;
- b) leng, illetve kileng/kilenghet a drón, ha akadály közelébe kerül;
- c) habár a drón a fizikai méreteit tekintve átférne két akadály között, az erők úgy határozzák, hogy ki kell kerülnie az objektumot, így nem az optimális elérési utat fogja választani;
- d) szűk utak között is kilenghet, főleg, ha változás áll be a falak távolsága között.

Ezeket Y. Koren és J. Borenstein fedezték fel 1991-ben [25].

## 6.6. A virtuális erőmező-metódus (The Virtual Force Field [VFF] Method)

A metódust [26] Y. Koren és J. Borenstein találta ki 1989-ben, ami arra volt tervezve, hogy valós időben lévő, gyorsan mozgó járművek ki tudják kerülni az akadályokat. Kutatásaikból kiderült, hogy ez a metódus koordináta-rendszert használ, amelynek a hisztogramrács nevet adták, amelyben az akadályok vannak. Minden cella valamilyen bizonyossági értékkel van felruházva, ami az algoritmus magabiztosságát szemlélteti, hogy azon a mezőn egy akadály van. Amikor megy a jármű, és a szenzorai érzékelnek 1-1 cellában akadályt, akkor azoknak a celláknak a bizonyossági értékei megnőnek. Ezzel együtt megjelenik a „potenciális mező”-metódus is. Ahogy a robot mozog, egy  $w_s * w_s$  lefedő mező követi, amely lefed egy C régiót; ez a régió lesz az aktív régió, és azok a cellák, amelyek beleesnek, lesznek az aktív cellák. Minden cella kiad magából valamilyen taszító erőt a robot felé. Ennek az erőnek a nagysága proporcionális az aktív cellákra, és inverzen proporcionális (*Inversely Proportional*) a  $d^n$ -hez, ahol is a  $d$  a távolság a cella közepe és a jármű közepe között, és az  $n$  egy pozitív szám:

$$F_{ij} = \frac{F_{cr} W^n C_{ij}}{d^n(i,j)} \left( \frac{x_i - x_0}{d(i,j)} \hat{x} + \frac{y_i - y_0}{d(i,j)} \hat{y} \right) \quad (5)$$

ahol is:

- $F_{ij}$  – virtuális taszító erő;
- $F_{cr}$  – taszítóerő-állandó;
- $d(i, j)$  – az  $i, j$  aktív cella távolsága a robothoz képest;
- $C_{ij}$  – az aktív cella bizonyossági értéke;
- $W$  – a robot szélessége;
- $x_0, y_0$  – a robot adott koordinátái;
- $x_i, y_i$  – az aktív cellák koordinátái.

Feltételezésükben az  $n = 2$  volt. Minden virtuális taszító erő összeadva adja ki az eredő taszító erőt,  $F_r$ -t.

$$F_r = \sum_{i,j} F_{ij} \quad (6)$$

Ezzel egyidejűleg ugyanilyen vonó erő is kialakul, amivel a cél maga felé húzza a járművet.

$$F_t = F_{ct} \left( \frac{x_t - x_0}{d_t} \hat{x} + \frac{y_t - y_0}{d_t} \hat{y} \right) \quad (7)$$

Ahol is a  $D_{ct}$  a cél vonzási ereje,  $d_t$  pedig a robot és a cél távolsága, és az  $x_t$  és  $y_t$  a célkoordináták. A kettő összegéből kapták meg az eredőerő-vektort,  $R$ -t.

$$Q^\pi(s, a) = R(s, a) + \tau \sum_{s' \in S} P_{ss'} V^\pi(s') \quad (8)$$

Nem sokkal ezek után megcsinálták a Potential Field Method módosított változatát, hogy adott szinten kijavítsák annak hibáit [25]. Kutatásukban kifejtik az előbb felsorolt négy lehetséges hibát részleteiben. A lokális minimumhoz kapcsolódva leírják, hogy a robot zsákutcába jut, például ha bekerül egy U alakú akadályba. Amikor két akadály között nem fér át a robot, mert az eredő taszító erő ellentétes irányba mutat, a cél pedig mögötte van, ahelyett, hogy átmenne a két akadály között, kikerüli. Megjegyzik, hogy e módszer alkalmazásának legnagyobb

korlátja, hogy ha változik a távolság a robot és az akadály között, akkor a mozgása instabil lesz. Ezeknek a hibáknak a kiküszöbölésére megalkották a Vector Field Histogram (VFH-) módszert.

### 6.7. A Vector Field Histogram módszer

A kutatásukban J. Borenstein és Y. Koren kifejti [27], hogy ebben a metódusban az adatcsökkentés két részletben zajlik, míg a VFF-ben csak egy volt. Ebben 3 adatrepresentációs szintet különböztetnek meg, amit a kutatásukban részletesebben kifejtenek:

- a) a legmagasabb szinten van az a környezet, amelyben a robot tevékenykedik. Itt a koordináta-rendszer folyamatosan frissíti önmagát a fedélzeti szenzorok segítségével;
- b) középső szinten egy H-val jelölt egydimenziós polár hisztogram képződik a robot pillanatnyi helyzete köré. Ez a H magába foglal  $n$  szögletes szektort, aminek  $\alpha$  a szélessége. Majd a  $C^*$  régiót egy transzformációval áttranszformáljuk ebbe a H-ba;
- c) a legalsó szinten pedig a VFH-algoritmus kimenete van, a referenciaértékek a vezetésre (gyorsítás, lassítás) és a kormányzásra.

Azonban, mint minden metódusnak, ennek is vannak hiányosságai és korlátai. Ezek közé tartozik, hogy ez az algoritmus nem találja meg mindig az optimális megoldást, csak abban az esetben, ha egy teljes környezetet táplálunk a rendszerébe. Illetve ennél is előfordulhat olyan probléma, hogy zsákutcába ragad és ott köröz. Ezt viszont ki lehet azzal küszöbölni, hogy egy előre megadott szabályt definiálunk neki, bár ebben az esetben sem lesz optimális az út. Erre találták ki azt a megoldást, hogy van egy útmonitorozás, ami jelzi, hogy ha a robot zsákutcába kerül. Ezután beállít magának valamilyen elterelő módot, és addig nem fog törődni ez az elterelés, amíg a robot újra meg nem látja a célt. Miután meg lett jelölve zsákutcának, a robot lelassít, esetleg megáll, amíg a VFH-algoritmust felfüggesztik. Egy Globális Úttervező (Global Path Planner) algoritmus átveszi az irányítást, hogy új utat tervezzen a hisztogram-rácson elérhető információ alapján. Ezután ezt az utat beletáplálja a VFH-algoritmusba.

### 6.8. Mesterséges intelligencia

A mesterséges intelligenciának köszönhetően egy újfajta út is megnyílt a drónok pályatervezése felé. Ez pedig a Reinforcement Learning (RL), azaz megerősítéses tanulás. Lényege, hogy adott szituációkhoz rendelünk adott akciókat, végül ezeket az akciókat hatásosságuk alapján számszerűen értékeljük. Az RL-ben egy ügynök szerepel, akinek jó előre meghatározott célja van. A tanulásnak három fő komponense van: a környezeti modell, hogy mi hogyan helyezkedik el, mi hol van; az eljárásmodok, hogy menjen egyenesen vagy forduljon jobbra; illetve a jutalmak, amelyek attól függően, hogy milyen eljárást választott, és hogy az közelebb vitte-e a céljához, lehetnek negatívak vagy pozitívak. Jutalmat minden akció/eljárás után kap az ügynökünk. Ez a bizonyos ügynök egy olyan entitás, amelyet megkérünk, hogy csináljon valamilyen akciót az adott állapotától a múltbeli események alapján. Az RL célja, hogy az ügynök gyorsan megtanulja azt az eljárást, amivel a kiinduló állapotból el tud jutni a célállapotba. Egy tanulási folyamat az RL-ben a következőképpen néz ki:

- a) az ügynök, jelen esetünkben a drón, választ egy akciót az elérhető akciók közül  $t$  időben, és elvégzi azt a környezetben;
- b) az akció eredményeképpen a drón állapota megváltozik, ami annyit tesz, hogy a drón közelebb vagy távolabb kerül a céltól;
- c) ezután kapja meg a jutalmat a célhoz való közelsége függvényében.

Az RL három fajtája:

- a) az értékalapú megközelítésnél az ügynök célja, hogy megtalálja azt az eljárásorozatot, amely maximalizálja a pontjait;
- b) az eljárásalapú megközelítés során az ügynöknek meg kell találnia az optimális értéket;
- c) a modellalapú megközelítés úgy működik, hogy az ügynöknek adunk egy modellt a környezetről, vagy megkérjük az ügynököt, hogy tanulja meg a környezet modelljét, hogy utána feladatokat végezzen el abban a környezetben.

Amíg az első két variáció például egy mentőakciónál lehet sikeres, mert ott számukra ismeretlen helyen, környezetben kell manőverezniük, addig a harmadikat egy városban lehet optimálisan használni, ahol a város térképét a programba lehet táplálni, mert az nagyon ritkán fog változni. Az RL alapkonceptiója közé tartozik, hogy az irányítás zárt körfolyamatként működik, és a jutalmak jelentik a visszajelzést neki. Ha mindezt drónokra akarjuk alkalmazni, akkor felfogható módosított Markov-döntési folyamatként.

A legelterjedtebb és legtöbbet módosított változat a Deep Q-Network algoritmus, röviden DQN. Ez az algoritmus kiemelkedik a komplex problémák megoldásában. A Q függvény a következőképpen néz ki:

$$Q^\pi(s, a) = R(s, a) + \tau \sum_{s' \in S} P_{ss'} V^\pi(s') \quad (9)$$

ahol:

- $\pi$  – az eljárás értéke;
- $s$  – az adott állapot;
- $a$  – az akció, amit tett a modell;
- $\tau$  – a csökkentési faktor.

Ez a rendszer úgy működik, hogy tudjuk a kezdő vagy éppen az adott állapotokat,  $S$  a helyzet,  $R$  a jutalom értéke,  $P$  a változási valószínűsége és  $V$  a használhatósági függvény (Utility Function). Miután ezek megvannak, a tanulást felbontjuk  $t$  időközökre, és minden lépésnél/minden időköznel egy új jutalomértéket számítunk, amíg el nem érjük az utolsó lépést,  $T$ -t. Mindezek után a maximum Q függvényt és a kumulált csökkentési faktort a következő képletekkel kell számolni [28]:

Maximum Q függvény:

$$Q^{\pi^*}(s, a) = R(s, a) + \tau \sum_{s' \in S} P_{ss'} V^{\pi^*}(s') = \mathbb{E}[r + \gamma \max_{a'} (Q^{\pi^*}(s', a')) | s, a] \quad (10)$$

Kumulált csökkentési faktor:

$$V^{\pi^*}(s) = \max_{a \in A} [Q^{\pi^*}(s, a)] \quad (11)$$

Utóbbinak három fejlesztett változata van, amit használnak:

- a) a Dupla DQN, ahol minden időben más értéket használ, hogy elkezdje az akciót.

$$Y_t^{Double} = r + \gamma Q(s_{t+1}, a_{t+1}, : \theta; ) \theta^- \quad (12)$$

- b) a küzdő DQN (Dueling DQN) esetén a hálózatot érték szerinti és előny szerinti hálózatokra bontjuk. Az értékáló hálózat megpróbálja kiértékelni a mostani és az összes állapotát a rendszernek. Miközben az előnyhálózat az elérhető akciók minőségét mutatja be, amit a következő egyenlet szemléltet:

$$Q(s_t, a_t; \theta, \alpha, \beta) = V(s_t; \theta, \beta) + A(s_t, a_t; \theta, \alpha) - \frac{1}{A} \sum_{a_{t+1}} A(s_t, a_t; \theta, \alpha) \quad (13)$$

- c) a Dupla Küzdő DQN (Double Dueling DQN) az előző kettő összeolvadásáról szól.

$$Y_t^{DDQ} = r_{t+1} + \gamma Q(s_{t+1}, \operatorname{argmax} Q(s_{t+1}, a_t; \theta, \alpha, \beta); \theta^-, \alpha^-, \beta^-) \quad (14)$$

Mivel a legtöbb esetben az UAV-kat olyan helyekre viszik, ahol a környezetük nem ismert, vagy csak részben ismert, olyan algoritmus kell, amely út közben tud tanulni és ezt automatikusan végzi. Ebben segít a mesterséges intelligencia és a Deep Learning, ezeknek a segítségével az UAV végig tud menni ismeretlen területeken is anélkül, hogy bármilyen ütközésveszély fennállna. A Deep Learning is az emberi viselkedésen alapul: az embernek sincs meg minden ismerete egy új környezetben, de az emlékeinek segítségével tud döntést hozni, hogy mit csinált hasonló helyzetben. A drónnál is azt kell elérni, hogy legyen valamilyen emléke, hogy tudja, adott helyzetekre hogyan kell reagálni [28].

Egy ilyen modellt hét fő változóval lehet leírni:

- $S$  – a környezeti állapotot írja le;
- $A$  – a lehetséges akciókat;
- $P$  – egy akció valószínűsége a jelen és a múlt helyzetei, illetve döntései alapján;
- $R$  – az UAV-hoz visszacsatolt jutalom, hogy milyen jól teljesített;
- $\Omega$  – a tényleges megfigyelések;
- $O$  – a feltételes valószínűségi eloszlás;
- $\delta$  – a csökkentési érték.

Hogy bemutassa hatásosságát ennek a DQN-nek, két különböző kutatás is MATLAB segítségével szemléltette, hogy ez az algoritmus működőképes olyan környezetben, ahol nem minden ismert, és jól kiigazodik előre nem látható helyzetekben is. Kutatásaikban Xiaojian Hou és csapata létrehozott egy algoritmust, amelyben összekapcsolta a Q-Learning algoritmust, illetve a „potenciális mező”-metódust [5], továbbá Ender Cetin és csapata szimulálták a drónok navigációját ismeretlen környezetben megerősítéses tanulással párosítva [29]. Utóbbiak a kutatásban megállapították, hogy a drón a mesterséges intelligencia/mélytanulás segítségével képes kikerülni az álló és mozgó akadályokat, és keresztül tud menni az adott környezetben, mint például egy kisebb szomszédságban. A másik kutatócsapat is megállapította, hogy a legtöbb algoritmus nem elég effektíven alkalmazható dinamikusan változó környezetben. Kutatásukban a Q-Learning algoritmust használták, hogy a globális tervezést megcsinálják, de amikor valamilyen ismeretlen veszélyforrás jelent meg, vagy elakadt, akkor a „potenciális mező”-metódust használták. Kutatásukban megállapították, hogy ezzel a módszerrel a drón effektíven tud navigálni a környezetben.

## 7. Összefoglalás, következtetések, kitekintés

Kutatásom során megvizsgáltam, milyen kihívásokkal kell megküzdeni egyes pályatervező algoritmusoknak, hogy megfeleljenek a kritériumoknak. Bemutattam egyes megbízható katonai algoritmusokat, mint a Voronoi Roadmap algoritmus, egyes általános használatúakat, mint az A\* algoritmust, illetve megvizsgáltam a legújabb típusú pályatervező algoritmusokat, mint a megerősítéses tanulási algoritmus. A jövőben egyre pontosabb és jobb algoritmusokat fogunk tudni majd létrehozni a kettő kombinálásából, mint láttuk ebben a két kutatásban [5], [29]. Megállapításaim szerint egy mesterségesintelligencia-alapú (ebben az esetben megerősítéses tanulási) algoritmus kombinálva a VHF, illetve a VHF+ sajátosságával jó módszer lehet, hogy még effektívebben tudjunk eljutni A-ból B-be, miközben figyel a drónunk a dinamikus környezetváltozásra, hirtelen felbukkanó akadályokra, és megtalálja a legrövidebb utat. További kutatásaim során ebbe az irányba fogok elindulni.

## Felhasznált irodalom

- [1] T. Amukele, „Using Drones to Deliver Blood Products in Rwanda,” *The Lancet Global Health*, pp. e463–e464, 2022. Online: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(22\)00095-X](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(22)00095-X)
- [2] A. A. Nyaaba, Matthew Ayamga, „Intricacies of Medical Drones in Healthcare Delivery: Implications for Africa,” *Technology in Society*, 66. évf. 101624. 2021. Online: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101624>
- [3] „The Verge,” [Online]. Elérhető: [www.theverge.com/sponsored/goldman-sachs-drones](http://www.theverge.com/sponsored/goldman-sachs-drones).
- [4] „Statista,” [Online]. Elérhető: <https://shorturl.at/f0TuN>
- [5] H. Xiaojian et al., „A UAV Dynamic Path Planning Algorithm,” in *2020 35th Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)*, pp. 127–131. 2020.
- [6] J. F. Shortle et al., „Simulating Collision Probabilities of Landing Airplanes at Nontowered Airports,” *Simulation*, 80. évf. 1. sz. pp. 21–31. 2004. Online: <https://doi.org/10.1177/0037549704042028>
- [7] B. M. Sathyaraj et al., „Multiple UAVs Path Planning Algorithms: A Comparative Study,” *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 7. évf. pp. 257–267. 2008. Online: <https://doi.org/10.1007/s10700-008-9035-0>
- [8] S. Aggarwal, N. Kumar, „Path Planning Techniques for Unmanned Aerial Vehicles: A Review, Solutions, and Challenges,” *Computer Communications*, 149. évf. pp. 270–299. 2020. Online: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.10.014>
- [9] R. Szabolcsi, „3D Flight Path Planning For Multirotor UAV,” *Review of the Air Force Academy*, 18. évf. 1. sz. pp. 5–16, 2020. Online: <https://doi.org/10.19062/1842-9238.2020.18.1.1>
- [10] R. Szabolcsi, „Multirotoros pilóta nélküli légi járművek háromdimenziós repülési pályáinak számítógépes tervezése és szimulációja,” *Hadtudomány*, 30. évf. 4. sz. pp. 133–150. 2020. Online: <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2020.30.4.133>
- [11] R. Szabolcsi, „Flight Path Planning for Small UAV Low Altitude Flights,” *Land Forces Academy Review*, 25. évf. 2. sz. pp. 159–167. 2020. Online: <https://doi.org/10.2478/raft-2020-0019>
- [12] R. Szabolcsi, „Pilóta nélküli légi jármű kis magasságú repülési pályáinak tervezése,” *Repüléstudományi Közlemények*, 32. évf. 1. sz. pp. 29–50. 2020. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2020.1.2>

- [13] C. Goerzen, Z. Kong, B. Mettler, „A Survey of Motion Planning Algorithms from the Perspective of Autonomous UAV Guidance,” *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 57. évf. pp. 65–100. 2020. Online: <https://doi.org/10.1007/s10846-009-9383-1>
- [14] H. Liu et al., „An Autonomous Path Planning Method for Unmanned Aerial Vehicle Based on a Tangent Intersection and Target Guidance Strategy,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23. évf. 4. sz. pp. 3061–3073. 2022. Online: <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3030444>
- [15] Bortoff, Scott, „Path Planning for UAVs,” American Control Conference, 2000. Proceedings of the 2000, pp. 364–368. 2000. Online: <https://doi.org/10.1109/ACC.2000.878915>
- [16] Balampanis et al., *2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 2017.
- [17] M. Rhinehart, *Monte Carlo Testing of 2- and 3-dimensional Route Planners for Autonomous UAV Navigation in Urban Environments, Thesis (M.S.)* University of Minnesota, 2008.
- [18] [Online]. Elérhető: <https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/soco/projects/1998-99/robotics/basicmotion.html>.
- [19] Blasi et al., „Path Planning and Real-Time Collision Avoidance Based on the Essential Visibility Graph,” *Applied Sciences*, 10 évf. 16. sz. p. 5613. 2020. Online: <https://doi.org/10.3390/app10165613>
- [20] C. Xia, C. Xiangmin, „The UAV Dynamic Path Planning Algorithm Research Based on Voronoi Diagram,” *The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC)*, pp. 1069–1071. 2014.
- [21] I. W. Geoffrey, C. Sammut, *Encyclopedia of Machine Learning*. Boston, MA: Springer US, 2010. Online: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8>
- [22] V. Jeaneau, A. Kotenkoff, L. Jouanneau, „Path Planner Methods for UAVs in Real Environment,” *IFAC-PapersOnLine*, 51. évf. 22. sz. pp. 292–297. 2018. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.557>
- [23] F. Daniel et al., „A Systematic Literature Review of A\* Pathfinding,” *Procedia Computer Science*, 179. évf. pp. 507–514. 2021. Online: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.034>
- [24] J. Borenstein, Y. Koren, „Potential Field Methods and Their Inherent Limitations for Mobile Robot Navigation,” *Proceedings – IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1398–1404. 1991.
- [25] Online: <http://www-personal.umich.edu/~johannb/vff&vfh.htm>
- [26] J. Borenstein, Y. Koren, „The Vector Field Histogram-Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots,” *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 7. évf. 3. sz. pp. 278–288. 1991. Online: <https://doi.org/10.1109/70.88137>
- [27] T. Ahmad et al., „Drone Deep Reinforcement Learning: A Review,” *Electronics*, 10. évf. 9. sz. p. 999. 2021. Online: <https://doi.org/10.3390/electronics10090999>
- [28] H. Xiaojian et al., „A UAV Dynamic Path Planning Algorithm,” in *2020 35<sup>th</sup> Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)*, pp. 127–131. 2020. Online: <https://doi.org/10.1109/YAC51587.2020.9337581>
- [29] Cetin et al., „Drone Navigation and Avoidance of Obstacles Through Deep Reinforcement Learning,” in *2019 IEEE/AIAA 38<sup>th</sup> Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, 2019, pp. 1–7. Online: <https://doi.org/10.1109/DASC43569.2019.9081749>

---

## ***The UAVs Path Planning Challenges and Possible Solutions***

*During my research I analysed the problems and the challenges of the UAV path planning. I am going to demonstrate the most common problems, which can come across during path planning. These problems include the Point Vehicle problem or the Jogger's Problem. I am going to present the state-of-art path planning algorithms and solutions like Visible Graph or A\*.*

**Keywords:** *Path planning, A\* algorithm, Q-Learning, UAV*

---

Mihályi Géza

hallgató

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai

Mérnöki Kar

[mihgeza2000@gmail.com](mailto:mihgeza2000@gmail.com)

[orcid.org/0009-0005-4636-0516](https://orcid.org/0009-0005-4636-0516)

Géza Mihályi

Student

Óbuda University

Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety

Engineering

[mihgeza2000@gmail.com](mailto:mihgeza2000@gmail.com)

[orcid.org/0009-0005-4636-0516](https://orcid.org/0009-0005-4636-0516)

---

Sándor Zsolt

## Pilóta nélküli légi járművek látótávolságon belüli és azon túli üzemeltetésének kihívásai

*Sokszor felmerül a kérdés, hogy a látótávolságon belüli üzemben (VLOS) végrehajtott művelet során mekkora lehet az UAV maximális eltávolodása a távpilótától. A válasz összetett, és nincs konkrét számérték hozzárendelve, ugyanis több tényező együttes figyelembevételével lehet ezt megállapítani. A sokszor említett 1 km-es ökölszabály sajnos nem alkalmazható teljeskörűen, minden esetre. Bizonyos esetekben az 1 km jelenti az abszolút maximumot, de figyelembe kell venni, hogy akár már néhány 100 m-es eltávolodás esetén is kikerülhet a művelet a VLOS-ból, még akkor is, ha az UAV-ra való rálátást tereptárgyak vagy egyéb tényezők nem akadályozzák.*

**Kulcsszavak:** pilóta nélküli légi jármű, UAS, UAV, látótávolság, látótávolságon túli üzem, látótávolságon belüli üzem, drón

### 1. Bevezetés

Jelen cikkben az európai szabályozási környezet alapján mutatom be, hogy a pilóta nélküli légi járművek használata során a látótávolságon belüli üzemeltetés milyen kihívásokat és milyen korlátokat jelent egy-egy művelet elvégzése kapcsán. A cikk az európai szabályozási keretre épül, továbbá kifejezetten repülésbiztonsági szempontból mutatja be a látótávolságon belüli és azon túli üzemeltetési kihívásokat.

A téma megértéséhez szükséges alapfogalmakat és definíciókat az alábbiakban tekintjük át, a szerző által hozzáfűzött magyarázatokkal együtt.

- Látótávolságon belüli üzem (VLOS – Visual Line of Sight): Az EU 947/2019 rendelet 2. cikk 7. pontja szerinti definíció [1, 2. cikk 7.] kimondja: „Az UAS-műveletek azon típusa, amelyben a távpilóta képes a pilóta nélküli légi járművel való folyamatos, segítség nélküli vizuális kapcsolattartásra, ami lehetővé teszi, hogy a távpilóta az ütközések elkerülése érdekében képes legyen befolyásolni a pilóta nélküli légi jármű repülési útvonalát más légi járművekhez, személyekhez és akadályokhoz képest.” Ennek alapján biztosított, hogy a távpilóta a művelet elvégzésének minden időpontjában a saját szemével rálát az UAV-ra, és képes szemmel tartani a járművet és annak közvetlen környezetét is. Ehhez képest az Amerikai Egyesült Államokban alkalmazott szabály [2] némileg pontosabb, ugyanis egyértelműen meghatározza, hogy a távpilótának pontosan mit kell tudnia észlelni, a repülési művelet végrehajtása során. Folyamatosan észlelendő tételek:

- UAV aktuális pozíciója;
  - a jármű mozgási iránya;
  - magassága és mozgási helyzete (irányultsága);
  - érintett légtér megfigyelése egyéb forgalom és veszélyek észlelése érdekében;
  - az UAV a művelet során nem veszélyezteti mások testi épségét és a vagyontárgyakat vagy a természeti képződményeket.
- Látótávolságon kívüli üzem (BVLOS – Beyond Visual Line of Sight): Az EU 947/2019 rendelet 2. cikk 8. pontja szerinti definíció [1, 2. cikk 8.]: „Az UAS-műveletek azon típusa, amelyet nem látótávolságon belüli üzemben (VLOS) hajtanak végre.” Ennek alapján minden olyan művelet, ahol a VLOS nem tud megvalósulni. A későbbiekben áttekintjük, hogy a BVLOS is több részre osztható, a végrehajtás pontos módjától függően.
  - Látástávolság: E fogalom több tényező együttes vizsgálatát igényli, ugyanis több módon is meg lehet határozni. Pilóta nélküli légi járművekkel végzett tevékenységek esetén az alábbi meteorológiai és az EASA<sup>1</sup> által kiadott AMC<sup>2</sup>-ben szereplő szakmai szempontból is alkalmazott meghatározást kell figyelembe venni (*flight visibility*) [3]: A látástávolság az a vízszintesen mért távolság, amelynél nappali körülmények esetén valamely tereptárgy vagy mesterséges nem kivilágított tárgy a háttérével teljesen egybeolvad, de még éppenhogy felismerhető. Ez maga a repülés közbeni horizontális látástávolság (*flight visibility*). Pilóta nélküli légi járművek üzemeltetése esetén a horizontális látástávolság megegyezik a vízszintes látástávolsággal (*visual range*), mivel az észlelést a földön álló távpilóta és/vagy megfigyelő végzi. Éppen ezért földi látástávolsággént (*ground visibility*) is hivatkoznak rá [4]. Meghatározásához az észlelést végző egyén a mérés helyszínén ismert távolságban elhelyezkedő tereptárgyakat vagy mesterséges akadályokat (úgynevezett vonatkoztatási pontokat) használ annak megállapítására, hogy az aktuális észlelési pontból melyik irányba milyen messzire lát el. A mérést lehetőség van éjszaka is elvégezni, ilyen esetekben ismert távolságban elhelyezkedő, jól megvilágított tárgyak alapján történik a viszonyítás. A látástávolság maximumát 5 km-ben lehet meghatározni, illeszkedve a VFR repülési szabályokhoz (Visual Flight Rules – látvarepülési szabályok). Amennyiben ennél nagyobb távolságig biztosított az ellátás, akkor is ezt az 5 km-t kell figyelembe venni minden további számításnál [4].
  - UAV térbeli észlelési határa: Az a maximális távolság, ameddig a távpilóta képes az UAV pozícióját és haladási irányát észlelni. Ezen távolság eléréséig képes a távpilóta az UAV repülési pályájának irányítására és magasságának, valamint pozíciójának meghatározására a vizuális megfigyelés által. A pontos érték tapasztalati képlet alapján határozható meg, figyelembe véve az eszköz szerkezeti jellegét (merevszárnyú vagy multitoros), illetve legnagyobb jellemző méretét (átlós tengelytávolság – CD) [4]:
    - multitoros eszköz esetén:  $327 \times CD + 20$  m;
    - merevszárnyú eszköz esetén:  $490 \times CD + 30$  m.
  - Észlelhetőségi határ: Az a távolság, ameddig más repülőgépek vizuálisan észlelhetők, és elegendő idő áll rendelkezésre egy elkerülő manőver végrehajtására. Ez a határ

<sup>1</sup> European Union Aviation Safety Agency – Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynöksége.

<sup>2</sup> Acceptable Means of Compliance, azaz a megfelelés elfogadható módzatai.

mindig az aktuális földfelszínen mért vízszintes látástávolság 30%-a [4]. Éjszakai vagy korlátozott látási viszonyok során tapasztalati úton más érték is megállapítható, azonban a további számításokhoz ezt az értéket használja a szerző.

- VLOS-határ: Az UAS távpilótától való eltávolodásának legnagyobb engedélyezett mértéke, ameddig a VLOS körülményei fennállhatnak. Ez az UAV térbeli észlelési határa vagy az észlelhetőségi határ közül az *alacsonyabb érték* az adott műveletre vonatkozóan, amely a látástávolság 5 km-es számítási maximumát figyelembe véve nem lehet több mint 1,5 km, tekintettel arra, hogy az észlelhetőségi határ maximális értéke az aktuális földfelszínen mért vízszintes látástávolság 30%-a.

## 2. UAS-műveletek szempontjából kötelezően figyelembe veendő tételek

Egy-egy UAS-művelet lebonyolítása során különösen nagy hangsúlyt kap a kockázatelemzés és az üzemeltetés, valamint a lebonyolítás szempontjából, hogy az adott műveletet VLOS- vagy BVLOS-módon valósítják meg. Utóbbi esetben csak a speciális kategóriára vonatkozó szabályoknak megfelelően hajtható végre. A VLOS/BVLOS-mód továbbá meghatározza a földi kockázati osztályt, az alkalmazandó kockázatcsökkentési megoldásokat és a hatóság számára benyújtandó megfelelőségi bizonyítékokat is, ami alapján az egyedi engedélyezési folyamat során megítélhető, hogy a tervezett műveletet az UAS-üzembentartó és a távpilóta biztonságosan végre tudja-e hajtani.

Lényeges, hogy a művelet lebonyolítása során a távpilóta felelőssége, hogy a vonatkozó szabályokat betartsa.

### 2.1. A nyílt kategóriára vonatkozó peremfeltételek

Nyílt kategóriában csak és kizárólag VLOS-művelet hajtható végre, azaz a VLOS feltételeit minden esetben biztosítani kell, ellenkező esetben meg kell szakítani a műveletet [UAS. OPEN.060(2)(b)]. A jogszabályponthoz kiadott AMC is kimondja, hogy a távpilóta olyan maximális távolságba irányíthatja az UAV-ot, hogy azt képes legyen mindig tisztán kivenni, és meg tudja állapítani a távolságát az akadályoktól. Amennyiben a műveleti környezetben nincs akadály, akkor az eltávolodás maximális mértéke a láthatósági korlátja az eszköznek (azaz ameddig látható a távolból – eszközészlelési határ). Akadályok esetén az eltávolodás maximális mértéke akkora lehet, hogy a távpilóta képes legyen értékelni az UAV és az akadályok közötti relatív távolságot.

Nyílt kategória esetén nincs jogszabályban meghatározva, hogy pontosan mekkora a VLOS-határa. Ennek oka, hogy számos tényező együttesen határozza meg ezt az értéket. Nézzük ezeket részletesen!

Műszaki és környezeti tényezők:

- UAV mérete: minél nagyobb, annál könnyebben észlelhető;
- UAV színe és festése: feltűnő színű és mintázatú eszköz távolabbról is észlelhető. Továbbá figyelembe kell venni, hogy a felhő színével egybeolvadó eszköz már néhány 10 m-ről sem látható (például egy fehér színű eszköz, borult időben);

- aktuális időjárási és légköri jelenségek: felhőzet, felhőalap, pára, füst, köd stb.;
- megvilágítottság és mértéke: napsütés, nap állása és a megvilágítás iránya és mértéke, éjszakai, szürkületi és nappali körülmények;
- épített vagy mesterséges környezet, és az esetleges akadályok elhelyezkedése: a horizont mely része, milyen távolságig látható;
- UAV mozgási pályája és sebessége: a 3 dimenziós trajektória intenzitása alapján képes-e a távpilóta a mozgást követni – van-e rá lehetőség, figyelembe véve a fiziológiai és fizikai lehetőségeket;
- viszonyítási pontok, árnyék: vannak-e jelen olyan pontok, amelyek alapján a pontos pozíció egyértelműen meghatározható;
- UAV-ra felszerelt láthatóságot növelő eszközök (fények, villanók stb.).

#### Humán tényezők:

- szem mint érzékszerv aktuális fiziológiai állapota > szubjektív tényezők, amelyek függenek az életkortól és a pillanatnyi fényhatásoktól is (például szem érzékenysége, szem alkalmazkodóképessége stb.). Jelentősen befolyásolja a látást, tekintettel arra, hogy az életkor előrehaladtával a látás fokozatosan romlik;
- távpilóta mentális állapota > feladatok összetettsége és a távpilóta stressz-szintje, valamint egyéb környezeti zavaró tényezők felbukkanása akadályozhatja a hatékony észlelést és a döntéshozatalt is;
- távpilóta gyakorlata > kezdő vagy kevés tapasztalattal rendelkező pilóták számára kihívást jelent a feladatok hatékony kezelése és az észlelés megvalósítása.

A listákon szereplő tényezők alapján látható, hogy elképzelhető olyan eset, amikor csak néhány 10 m a VLOS-határa. Ezt a művelet elvégzésekor mindenképp figyelembe kell venni.

Az 1. táblázat néhány jellemző multikopter kialakítású UAV-ra mutatja meg az eszköz VLOS-eltávolodási határát méterben, az UAV térbeli észlelési határának figyelembevételével, különböző látástávolságok esetén (egész méterre kerekítve).

1. táblázat

Multikopter kialakítású eszközök VLOS-eltávolodási határértékei [saját szerkesztés, DJI-eszközspecifikációk alapján, DJI.com oldalon szereplő adatok felhasználásával]

	Átlós tengely-táv (m)	UAV térbeli észlelési határa (m)	Észlelhetőségi határ (m) – az aktuális földfelszínen mért vízszintes látástávolság 30%-a			VLOS-határ (m) – Az UAV térbeli észlelési határa vagy az észlelhetőségi határ közül az alacsonyabb érték		
			Látás-távolság: 5 km	Látás-távolság: 3 km	Látás-távolság: 1 km	Látás-távolság: 5 km	Látás-távolság: 3 km	Látás-távolság: 1 km
DJI Agras T10	2,68	896	1500	900	300	896	896	300
DJI Agras T30	2,98	994	1500	900	300	994	900	300
DJI Matrice 300	0,9	314	1500	900	300	314	314	300
DJI Mavic 3	0,38	144	1500	900	300	144	144	144
DJI Mini 3 Pro	0,25	101	1500	900	300	101	101	101
DJI Mini 2	0,21	90	1500	900	300	90	90	90
DJI Phantom 4	0,35	134	1500	900	300	134	134	134
DJI Air 2	0,30	119	1500	900	300	119	119	119

A táblázat alapján látható, hogy még a legnagyobb<sup>3</sup> T30-as permetező UAV esetén sem lehet VLOS-ban elérni az 1 km-t mint maximális eltávolodási mértéket.

Figyelembe kell venni, hogy amennyiben a távpilótát pilóta nélküli légi jármű-megfigyelő (UAO<sup>4</sup>) segíti, akkor is VLOS-ként kell a műveletet végrehajtani, ugyanis a pilóta nélküli légi jármű-megfigyelő a távpilóta mellett tartózkodó személy, aki segédeszköz nélküli vizuális megfigyelése révén segíti a távpilótát az UAV VLOS-ban tartásában és a repülés biztonságos végrehajtásában.

Segédeszköznek tekinthető a távcső és bármilyen olyan elektronikus eszköz, amely külön platformon pozíciót, élképet vagy egyéb adatokat jelenít meg.

A repülési műveletek elvégzése során a távpilótának vagy az UAS-üzembentartónak (attól függően, hogy a művelet megtervezéséért ki a felelős) figyelembe kell vennie ezeket a tényezőket, és ezek alapján kell tudnia meghatározni az eltávolodás maximumát, hogy a VLOS biztosítható legyen. Továbbá a távpilótának a művelet végrehajtása során biztosítania kell, hogy VLOS-üzem esetén az UAV hozzá képest ezen távolságon belül tartózkodjon.

## 2.2. A speciális kategóriára vonatkozó peremfeltételek

Speciális kategóriájú művelet végrehajtása során és azon belül sztenderd forгатókönyv (STS<sup>5</sup>) vagy előre meghatározott kockázatelemzés (PDRA<sup>6</sup>) alapján végrehajtott művelet esetében is figyelembe kell venni a szabályozókban szereplő peremfeltételeket az eltávolodás maximális mértékénél, és minden műveletet egyenként kell értékelni. A PDRA-ban és az STS-ben feltüntetett VLOS-határok minden esetben abszolút határok, amelyeket optimális időjárási körülmények között sem lehet túllépni. Lényeges, hogy ha a számítás alapján alacsonyabb értékek adódnak, akkor hiába lehetne akár 1 km-ig is eltávolodni a távpilótától, a szabályok alapján azt nem lehet megtenni, mivel az eszköz észlelése ilyen távolságból nem biztosított.

Emiatt az 1 km-es (vagy egyéb rögzített) eltávolodási értékek csak iránymutatásként szolgálnak. Ezeket csak megfelelő méretű eszközökkel és optimális időjárási körülmények között lehet kihasználni. Az 1 km az STS-02-ben meghatározott feltételekből származik [1] [UAS.STS-02.020 (6) (c)], ugyanis az UAS-művelet esetén a pilóta nélküli légi jármű a hozzá legközelebb eső légtérmegfigyelőtől legfeljebb 1 km-re távolodhat el.

## 3. A látótávolságon túli műveletek sajátosságai

Amennyiben a művelet elvégzése során a távpilóta az UAV-val a VLOS-határánál nagyobb mértékben szeretne eltávolodni, úgy a műveletet csak a BVLOS-ra vonatkozó szabályok alapján lehet végrehajtani.

BVLOS-ban végrehajtott műveletek esetén két típus különböztethető meg – a megkülönböztetést kizárólag a művelet operatív végrehajtása szempontjából elemezzük, a feladatokhoz kapcsolódó egyéb jogszabályi sajátosságok nem képezik jelen elemzés tárgyát, például

<sup>3</sup> Európában engedélyezett és elérhető.

<sup>4</sup> Unmanned Aircraft Observer.

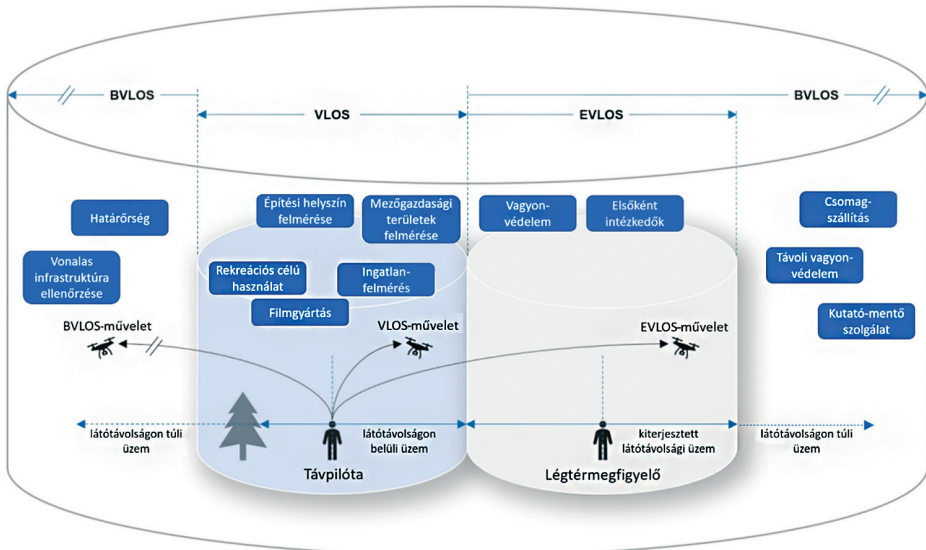
<sup>5</sup> Standard Scenario.

<sup>6</sup> Predefined Risk Assessment.

növényvédelmi célú kijuttatási művelet során alkalmazandó repülésfigyelő vagy egyéb célú, nem a repülési művelet végrehajtásában részt vevő személy stb.:

- Egy vagy több képzett légtérfigyelő közreműködésével végrehajtott művelet az úgynevezett kiterjesztett látótávolságon belüli üzem (EVLOS – Extended Visual Line of Sight). A légtérfigyelő a légtérben fellépő esetleges veszélyek észlelése céljából azon légtér segédeszköz nélküli vizuális megfigyelése révén segíti a távpilótát, amelyben a pilóta nélküli légi jármű repül. Permetezési művelet elvégzése esetén a magyar jogszabályok alapján [5] közreműködése kötelező.
- Légtérfigyelők nélkül végrehajtott művelet – hagyományos BVLOS –, amely során a távpilóta az UAV-ot a művelet alatt nem látja, azonban a rendelkezésre álló műszaki eszközök felhasználásával képes a művelet irányítására az UAV által biztosított adatok, biztonsági funkciók és az élőkép alapján. A széles körű biztonsági megoldások lehetővé tudják tenni az egypilótás üzemet, ahol a távpilótán kívül nincs más, aki részt vesz a művelet operatív lebonyolításában.

Az 1. ábra szemlélteti a látótávolságon belüli és azon túli műveleteket.



1. ábra

VLOS és BVLOS közötti különbségek szemléltetése (saját szerkesztés [7] felhasználásával)

Amennyiben speciális kategóriába tartozó műveletet hajtanak végre, úgy minden esetben meg kell határozni az eltávolodás maximális mértékét. VLOS esetén ez az UAV méretétől és a környezettől függ, BVLOS esetén pedig az alkalmazott műszaki megoldásoktól. Speciális kategóriájú műveletek esetén a kiadott műveleti engedély meghatározza, hogy a műveletet VLOS-ban vagy BVLOS-ban kell végrehajtani, és a művelet végrehajtására vonatkozó egyéb peremfeltételeket is tartalmazza (például időjárás körülmények stb.). BVLOS esetén több lehetőség közül tud a felhasználó választani a művelet végrehajtási módja szerint, amely meghatározza az eltávolodás maximális mértékét. Ezek az alábbiak:

- Előre meghatározott kockázatelemzések alapján végrehajtott műveletek (PDRA): ezen esetekben a PDRA keretrendszer biztosít, amely előre kialakított kockázatsökkentő intézkedések kötelező alkalmazásából áll. A megoldás lényege, hogy ameddig a felhasználó a PDRA-ban foglaltakat betartja, biztosítható, hogy a művelet egy adott eredő kockázati szint alatt maradjon (SAIL II kategóriában<sup>7</sup>). A műveletek során felhasználható PDRA-kat az EASA dolgozza ki és publikálja a honlapján, továbbá az AMC-be is bekerül [3]. A felhasználó a leendő művelethez leginkább alkalmazható változatot választja ki, és annak megfelelően építi fel a műveleti kereteket, amelyekre a műveleti engedélyt megkéri. Ezek részletesen meghatározzák a működés módját (B/VLOS) és az eltávolodás mértékét a műveletet végrehajtó személyzet nagyságától függően. A PDRA-k a kockázatsökkentő intézkedéseket és megoldásokat általánosabban tartalmazzák. Ez kellő rugalmasságot biztosít az UAS-üzembentartók számára, hogy a szándékolt üzemeltetés sajátosságaihoz illeszkedő korlátozásokat alkothassanak meg. A PDRA-k száma az újabb felhasználási igények megjelenésével együtt folyamatosan bővül, így időről időre újabbak jelennek meg, amelyek az EASA honlapján érhetőek el.
- Sztenderd forgatókönyvek alapján megvalósított műveletek (STS): ezen esetekben lehetőség van külön műveleti engedély nélkül, úgynevezett üzembentartói nyilatkozat szerint megvalósítani a műveletet a jogszabályban előre meghatározott keretrendszer alapján [1], megfelelő osztályazonosítóval (C5 vagy C6) rendelkező eszközökkel. Ezek részletesen meghatározzák és előzetesen rögzítik a működés módját (B/VLOS) és az eltávolodás mértékét a műveletet végrehajtó személyzet nagyságától függően.
- Egyedi kockázatelemzésen alapuló művelet: amennyiben a felhasználó olyan műveletet szeretne végrehajtani, amelyre nem áll rendelkezésre STS vagy PDRA, úgy a SORA kockázatelemzési módszertan alkalmazásával kell a megfelelést igazolni, és a művelet eredő kockázata alapján a szükséges megalapozottsági szinteket igazolt módon kielégíteni. Ebben az esetben a kockázatelemzés alapján lehet meghatározni az eltávolodás mértékét, figyelembe véve az eredő kockázati besorolás alapján előálló peremfeltételeket.

BVLOS esetén figyelembe kell venni a művelet fizikai jellemzőit és a megvalósítandó feladatot, amely egyértelműen meghatározza, hogy milyen környezetben hajtják végre a műveletet.

Műszaki szempontból az UAV repülési teljesítményén (maximális repülési idő, sebesség stb.) és a láthatóság fokozásán túl alkalmazott megoldásokon kívül figyelembe kell venni az irányítójel és a vizuális összeköttetést biztosító videójel maximális hatótávolságát. Ezt befolyásolja az épített és mesterséges környezet, ami a jel terjedésére hatással lehet. Vannak olyan előre ismert jelenségek, mint például a nagyfeszültségű távvezetékek, amelyek környezetében a jel terjedése megbízhatatlanná válik, így ezeket számításba kell venni. Amennyiben a célfeladat ilyen infrastruktúra közvetlen közelében való repülés, akkor további kiegészítő intézkedések megtétele válhat szükségessé (redundáns antennarendszer, műholdas adatkommunikáció stb.).

<sup>7</sup> Specific Assurance and Integrity Level – azaz speciális bizonyossági és integritási szint –, amely kifejezi, hogy a művelet milyen kockázatot jelent a földi és légi környezetre.

BVLOS-művelet különösen kockázatos, mivel ezen esetekben az UAV és a környezete vizuálisan nem figyelhető meg, arról a távpilótának csak a távirányító által közvetített adatok alapján van ismerete. Ez indokolja, hogy ilyenkor további biztonságnövelő intézkedések álljanak rendelkezésre, és azokat alkalmazzuk.

#### 4. A látótávolságon túli műveletek jövője

A BVLOS-műveletek várhatóan egyre inkább terjednek majd a jövőben, amit támogatnak az olyan ütközésérzékelő és -elkerülő megoldások (DAA<sup>8</sup>), amelyeket a nagygépes környezetből vesznek át. Ehhez a hagyományos légi járműveknél már megszokott transzponderhez hasonló, de annál olcsóbb, könnyebb és kisebb hatótávolságú eszközöket alkalmaznak (például ADS-B, Flarm stb.). Ezekkel a földön elhelyezkedő távoli pilótának lehetősége van észlelni a közelben a levegőben tartózkodó és műveletet végző eszközöket, azokat a repülési és orientációs adatokkal együtt a távirányítón megjeleníteni, így a potenciális ütközési helyzeteket el tudja kerülni. Lényeges, hogy az alkalmazott eszközöknek a távpilótát kell támogatni a többi légi járműről szóló információk megjelenítésével – mivel az elkülönítésért a távpilóta a felelős –, és nem lehetséges az, hogy az UAV-okról származó információk felesleges zavart keltsenek a hagyományos légi közlekedési szereplők között. Emiatt ADS-B In eszközöket használnak az UAV-okon.

Az EU-s jogszabályokban nevesített közvetlen távoli azonosítási funkció is ezt szolgálja [6]. Ezt a funkciót meghatározott osztályazonosítóval (C1, C2, C3, C5 és C6) rendelkező eszközöknek biztosítaniuk kell, ami lehetőséget teremt mind a nyílt, mind a speciális kategóriájú műveletek fokozott biztonsággal történő lebonyolítására.

Az UAS-ok felhasználási területei egyre inkább bővülnek, így sorra jelennek meg olyan felhasználási esetek, ahol csak és kizárólag BVLOS-jellegű üzemeltetéssel lehet az adott repülési műveletet megvalósítani. Ezek olyan értékötöbbséget jelentő műveletek, amelyekkel a hagyományos élőmunka kiváltható, főleg olyan kritikus területeken, ahol az emberi munka veszélyes, lassú vagy költséges lenne. Ilyenre példa a nagy magasságban megvalósított infrastruktúra-felmérés, a veszélyes létesítmények felmérése, de akár idesorolható a vonalas létesítmények felmérése, vagy akár a határszakaszok ellenőrzése és azokon való járőrözés is.

A jövőben egyes szolgáltatások hatékony működéséhez (például áruszállítás) elengedhetetlen lesz az autonóm üzemű működés, amihez létfontosságú, hogy az eszközök képesek legyenek önállóan észlelni a potenciális veszélyeket, ezeket saját maguk, emberi beavatkozás nélkül ki tudják kerülni, adott esetben a mozgási pálya módosításával. Ezek olyan DAA-rendszerekkel valósíthatók csak meg, amelyek képesek észlelni nemcsak a levegőben, hanem a földfelszínen lévő akadályokat is, különböző szenzorok együttműködése által.

A BVLOS-működést nagyban fogja segíteni az UTM<sup>9</sup>/U-Space<sup>10</sup> szolgáltatások megjelenése és elterjedése, ami hasonló a hagyományos légi járművek irányítási rendszeréhez. Ezáltal a pilóta nélküli légi járművek forgalmi menedzsmentje is elérhetővé válik, sőt ezek

<sup>8</sup> Detection and Avoidance.

<sup>9</sup> Unmanned Aircraft System Traffic Management – pilóta nélküli légi járművek forgalmi menedzsmentje.

<sup>10</sup> Biztonsági intézkedések kombinációjából előálló légtér, ahol speciális követelményeket kell kielégíteniük a felhasználóknak.

forgalomirányítása is megoldódhat, és ez nagyban képes csökkenteni a jövőben a számos UAV-együttes felhasználásából származó összeütközési kockázatot.

A technológiai fejlődés az UAS-ok minden területére kihat. Így a BVLOS-repülések jövője is nagyban függ majd az újonnan megjelenő műszaki megoldásoktól, a rájuk vonatkozó új szabályoktól és szabványoktól. Az egyre nagyobb teljesítményű eszközök megjelenése a távközlési és adatátviteli megoldásokra is hatással lesz, így a telekommunikáció során is számos újdonság megjelenése várható az UAS-ok szempontjából a közeljövőben. Ennek oka, hogy a távirányítók hatótávolsága a végtelenségig nem növelhető, továbbá a környezeti akadályok sem teszik lehetővé a korlátlan jelterjedést, így alternatív megoldások szükségeltetnek a nagyobb távolságú BVLOS-műveletek lebonyolításához.

## 5. Összefoglaló

A pilóta nélküli légi járművekkel végrehajtott látótávolságon belüli műveletek esetén az eltávolodás maximális mértékének meghatározásához számos tényező együttes figyelembevétele szükséges, amelyek közül az egyik legfontosabb az UAV jellemző mérete és az aktuális látástávolság. Amennyiben a művelet látótávolságon belül nem hajtható végre, úgy az mindenképp speciális kategóriájú műveletnek fog minősülni, és ilyen szempontból további kockázatcsökkentő intézkedések alkalmazásával kell az UAS-üzembentartónak garantálni a művelet biztonságos lebonyolítását.

A cikkben bemutatott számítási eljárás alapján látható, hogy sok esetben már néhány száz méteres eltávolodás esetén is a művelet csak BVLOS-ban hajtható végre, mivel az UAV-ra való rálátás nem biztosított – a térbeli észlelési határtávolságon túli reptetés esetén. Ez jelentős kihívást jelent az UAS-üzembentartók számára, mivel a nyílt kategórián túlmutató kötelezettségekkel tudják csak megvalósítani az üzemeltetést.

A BVLOS-műveletek biztonságát jelenleg is számos műszaki megoldás javítja, azonban a jövőben újabb technológiai fejlesztések megjelenése várható, amelyek sok esetben a nyílt kategóriájú műveleteknél is használhatók majd. Ezek szenzorok komplex alkalmazása és adatátviteli megoldások, amelyek a felhasználók számára aktív kommunikációt, információ megjelenítést és ütközésselkerülést biztosítanak, növelve a légi közlekedés biztonságát.

A műveletek biztonságos lebonyolítása szempontjából lényeges, hogy a sokszor említett és ökölszabályként alkalmazott VLOS 1 km-es eltávolodási maximum nem alkalmazható, helyette észszerű, az aktuális környezeti paramétereket figyelembe vevő számítást érdemes végezni a művelet végrehajtását megelőzően.

## Felhasznált irodalom

- [1] „Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 of 24 May 2019 on the Rules and Procedures for the Operation of Unmanned Aircraft,” Official Journal of the European Union L 152, 62. évf. 2019. június 11. Online: [http://data.europa.eu/eli/reg\\_impl/2019/947/oj](http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2019/947/oj)
- [2] FAA regulation: Code of Federal Regulations. Title 14 – Aeronautics and Space, Subchapter F – Air Traffic and General Operating Rules, Part 107 – Small Unmanned Aircraft Systems, § 107.31 Visual Line of Sight Aircraft Operation.

- [3] European Union Aviation Safety Agency, Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947. 2022. szeptember. Online: [www.easa.europa.eu/downloads/110913/en](http://www.easa.europa.eu/downloads/110913/en)
- [4] Luftfahrt-Bundesamt (LBA) útmutató: Guidance for Dimensioning of Flight Geography, Contingency Volume and Ground Risk Buffer. 2023. február 15. Verzió 1.5. Online: [www.lba.de/SharedDocs/Downloads/DE/B/B5\\_UAS/Leitfaden\\_FG\\_CV\\_GRB\\_eng.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](http://www.lba.de/SharedDocs/Downloads/DE/B/B5_UAS/Leitfaden_FG_CV_GRB_eng.pdf?__blob=publicationFile&v=8)
- [5] 44/2005. (V. 6.) FVM-GKM-KvVM együttes rendelet a mező- és erdőgazdasági légi munkavégzésről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0500044.fvm>
- [6] „Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945 of 12 March 2019 on Unmanned Aircraft Systems and on Third-country Operators of Unmanned Aircraft Systems,” Official Journal of the European Union L 152, 62. évf. 2019. június 11. Online: [http://data.europa.eu/eli/reg\\_del/2019/945/oj](http://data.europa.eu/eli/reg_del/2019/945/oj)
- [7] E. Alvarado, „BVLOS Operations: Expanding the Frontier,” *Drone Industry Insight*, 2021. 11. 25. Online: <https://droneii.com/bvlos-operations-expanding-the-frontier>

---

## ***Challenges of the Operation of Unmanned Aerial Vehicles in Visual Line of Sight and Beyond***

*The question often arises: What is the maximum distance of the UAV from the remote pilot during a VLOS operation? The answer is complex, and no specific numerical value is assigned, as it can be determined by considering a combination of factors. Unfortunately, the oft-mentioned rule of thumb of 1 km cannot be applied in all cases. In some cases, 1 km is the absolute maximum. However, it should be taken into account that the operation can become a BVLOS operation even a few times at a distance of 100 m, even if landmarks or other factors do not obstruct the visibility of the UAV.*

**Keywords:** *unmanned aerial vehicle, drone, visual line of sight, beyond visual line of sight, drone operation, visual distance*

---

Dr. Sándor Zsolt  
egyetemi docens  
Tokaj-Hegyalja Egyetem  
[zsolt.sandor1@gmail.com](mailto:zsolt.sandor1@gmail.com)  
[orcid.org/0000-0001-7117-9069](https://orcid.org/0000-0001-7117-9069)

---

Zsolt Sándor, PhD  
Assistant Professor  
University of Tokaj  
[zsolt.sandor1@gmail.com](mailto:zsolt.sandor1@gmail.com)  
[orcid.org/0000-0001-7117-9069](https://orcid.org/0000-0001-7117-9069)

---

Sándor Szabó, Michael Bodó, József Nagy-Bozsóky,  
István Pintér, Mihály Bagány, Szilvia Kora, Pál Dunai

## Physiological Challenges of Space Travel and Ground-Based Simulation Possibilities for Monitoring Brain Circulatory Changes: A Rheoencephalography Study

*The functional integrity of brain perfusion and oxygen transport profoundly determines mental performance during military flight missions and spaceflight. Presently, at the selection phase of pilot candidates, there are no screening methods to evaluate cerebral circulation and its autonomous regulation (AR), meanwhile the pilot information processing capacity could be insufficient in dangerous flight situations with high mental workload or during high "head-to-foot" G loads. On-board ISS (International Space Station) and during deep-space missions circulatory changes can be evolved in the opposite direction due to the microgravity: blood shift toward the head-neck region can increase ICP (Intracranial Pressure) and tenfold increase of carbon-dioxide concentration can provoke complaints and disturbances in eye and brain blood circulation (Space Associated Neuro-Ocular Syndrome – SANS). The alteration of brain perfusion dynamics and oxygen utilisation was investigated on the head-down tilting table (HDT) test and in the hypobaric (low-pressure) chamber. We registered the brain regional pulse wave changes by the bioimpedance (Rheoencephalography – REG) on 19 volunteers in rest and after the breath-holding manoeuvre. We found that during the head-down tilt (HDT) position, the amplitude of the second peak of the REG pulse wave increased, like the ICP pulse wave, being an unfavourable sign for intracranial pressure increase in clinical cases. Manual readings resulted in significant differences during HDT between the female ( $P = 0.0007$ ) and male ( $P < 0.0001$ ) groups. With automated analysis, the increase in REG P2 wave was significant, and the ratio was 4/5 (80%) for women and 10/14 (71%) for men. The newly written automatic program script was able to detect this in 92% of the cases. The calculated values detected the state of cerebral circulatory autoregulation and the identity between the male and female groups. Based on this result and previous REG correlation studies, it can be concluded that REG could be used to monitor fighter pilots, astronauts, and neurocritical care patients in real-time as emergency alert in the transitory cessation of brain perfusion.*

**Keywords:** intracranial pressure, noninvasive, rheoencephalography, simulation in Trendelenburg position, hypobaric hypoxia

## 1. Introduction

Military aviation and space flight are the same as "pushing the limit" beyond the overall physical and mental capability of well-trained pilots and astronauts require special psychological and somatic stress tolerance. The functional integrity of brain perfusion and oxygen transport is essential to maintain proper mental performance. It could be crucial to forecast the possible individual decrement of that in an emergency situation, during dogfight in military mission or during spaceflight in microgravity, easily leading to a narrowed conscious state even to sudden incapacitation.

### 1.1. Military aviation

Hypoxia has long been recognised as a significant physiological threat at altitude. Aircrew has traditionally been trained to recognise the symptoms of hypoxia using hypobaric chamber training at simulated altitudes of 25,000 feet or more. Hypoxia in flight remains a serious threat to aviators and can result in fatalities seriously considered a major risk in the physiological capability domain in all presently adopted human error models [1], [2], [3]. Ever-present risks of hypobaric hypoxia and decompression sickness accompany military aviation. Neuroprotection against those hazards is conferred through fractional-inspired oxygen concentrations of 60-100% (hyperoxia). Hyperoxia reduces global cerebral perfusion, increases reactive oxygen species within the brain, and leads to cell death within the hippocampus. However, an understanding of hyperoxia's effect on cortical activity and concomitant levels of cognitive performance is lacking. This limits our understanding of whether hyperoxia could lower the brain's tolerance threshold to physiological stressors inherent to extreme aviation, such as high gravitational forces [4].

On board of military fighter aircrafts, the possibility for human performance measurement including mental and physical parameters is very limited, from the physiological (circulatory) aspect, we have no information about actual fighting capability (compared to the detailed information of technical data in "black box" as flight recorder). From the flight safety aspect, it would be essential to understand and forecast just in time the pathophysiology of UPE (Unexplained Physiological Events/Incidents), which might lead to sudden incapacitation during flight even "on-mask" position. Since 2002, US NAVY lost four F-18s, and the US Air Force one F-22 aircraft, because the pilot was unaware of the sudden progression to an unconscious state while flying at high altitude, being unable to switch on emergency oxygen and prevent a fatal outcome [3].

Cerebral circulatory problems have already been detected in the Stuka (Junkers Ju-87) and US dive-bombers. In pilots of modern 5.-6. Generation fighter jets' high rate of manoeuvrability can disrupt brain circulation (G-induced loss of consciousness) and the loss of cockpit cabin pressurisation and the threat of hypoxia in emergency accompanied by carbon-dioxide washout from blood can cause loss of consciousness. Without the protection effect of the Aircrew Equipment Assembly, this situation could surely lead to fight-and-flight incapability.

During high G-s (accelerations and overloads due to the increased agility and manoeuvrability of combat aircraft), the inertial shift of blood to lower body parts can provoke blood pressure drop and pulse undulation leading to the transient cessation of brain perfusion and G-induced loss of consciousness (G-LOC). After military sorties, longer deterioration of mental performance can commence due to A-LOC (almost LOC with repetitive changing brain perfusion during acceleration episodes) or hypoxia hangover (disturbed oxygen utilisation for hours at the brain cell level) [5].

Continuous monitoring of biomedical data would be beneficial to prevent these scenarios, providing automatic feedback about circulatory parameters and tissue oxygen level (esp. in the brain). From this aspect, the monitoring of the alteration of Cerebral (brain) Blood Flow (CBF and Near Infrared Spectroscopy [NIRS] measurement for regional Oxygen saturation level) would be a valuable method, using dry electrodes inserted into the helmet, and possible warning signs are indicated on the pilot displays. From the technical aspect (during a real flight), the experience is still minimal. Still, it might be useful in the evaluation of protective efficiency regarding personal altitude and anti-G Suit (aircrew equipment assembly) and recovery procedures (breathing protocol during subsequent critical tasks) [6]. Simulated flight (in barochamber performing VR [virtual reality] based flight sorties) would be another approach to characterise in hypoxia the possible decrement in flight multitasking capabilities and loss of situational awareness [7], [8].

## 1.2. Space flight

The normal hydrostatic gradient at 1 G from head to toe linearly increases, but in microgravity, a dramatic redistribution of fluids from the legs to the upper body (torso and head) can commence within only a few moments of weightlessness, which is completed within days. Due to the cephalad shift fluid volume in the legs decreased by 10%, accompanied by a 17% reduction in plasma volume due to the initially increased filtration through the kidneys. This fluid redistribution phenomenon is called "puffy head and birdy legs" and refers to significant facial swelling and significantly (by 10–30%) decreased leg circumference. Astronauts subjectively often complain of buzzing headache, nasal congestion, anosmia (loss of smell), diminished taste (and appetite), and eye and visual abnormalities (blurred vision, diminished visual acuity) after extended stays in space, which are likely symptoms of increased intracranial pressure in spaceflight associated neuro-ocular syndrome (SANS) [9], [10], [11], [12].

The follow-up for CBF changes would be essential to understand better the SANS, where intracranial pressure (ICP) increase driven by cephalad fluid shift (toward the upper torso and head) could easily threaten the success of deep space missions [13], [14], [15]. Elevated CO<sub>2</sub> concentration on ISS cause additional increases in brain blood volume. Overall CO<sub>2</sub> elevation is caused by less effective chemical absorption and possible accumulation of exhaled CO<sub>2</sub> around head of spacecrew due to the lack of equalising convections (airflow) in microgravity [16]. Studies described that living on ISS caused accelerated cerebrovascular aging and decreased cerebrovascular reactivity [16], [17], [18], [19].

Tilting table test in head down position – HDT (Trendelenburg position) – is a widely used method in ground-based situations to simulate microgravity with headward blood shift and demonstrate cardiovascular reflex changes [20], [21]. Not only would the peripheral parameters (systemic blood pressure and heart rate) be informative, but brain circulatory effects can be monitored as well.

### 1.3. Prehospital and clinical neuromonitoring

The goal of neuromonitoring is to prevent secondary brain injury during clinical treatment (and possibly provide triage information about battlefield injuries to evaluate the severity and priority of the wounded casualties). Brain imaging methods (X-ray, computer tomography, magnetic resonance imaging, etc.) are used to diagnose morphological changes such as haemorrhage, tumour, vasospasm, etc. These methods are good in spatial resolution but bad in time resolution. Neuromonitoring methods involve invasive and noninvasive ones. Invasives are ICP, tissue  $O_2$ , temperature, quantitative CBF, laser Doppler flowmetry, spreading depolarisation, and microdialysis [22]. Noninvasive methods are electrophysiological (EEG, bispectral index, evoked potential) and vascular (TCD, NIRS, REG) [23, p. 53]. The computerised invasive method is the real-time calculation of the CBF AR index, called the pressure reactivity index (PRx). The calculation uses invasive arterial pressure and ICP waveforms and the program name is ICM+ [24]. PRx is Pearson's correlation coefficient, calculated as the continuous correlation between 30 consecutive time-averaged (10 s) ABP and ICP values. A positive index (positive correlation) implies impaired CBF AR, while a negative index (inverse correlation) implies intact AR [25]. Several publications described the morphological change of ICP pulse wave as a function of ICP elevation [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32].

## 2. Method for brain circulation monitoring – rheoencephalography

The alteration of brain perfusion dynamics and oxygen utilisation in microgravity was investigated in the ground-based simulation of microgravity on the head-down tilting table (HDT) test and in the hypobaric (low-pressure) chamber. We registered the peripheral and brain regional pulse wave changes by the bioimpedance-based rheoencephalography (REG) on 19 volunteers at rest and after a breath-holding manoeuvre.

### 2.1. Subjects

The study was conducted in the Aeromedical, Military Screening, and Healthcare Institute, Medical Centre of the Hungarian Defence Forces in Kecskemét, Hungary. The test procedure was by the Declaration of Helsinki, and was approved by the Medical Research Ethics Review Board of the Ministry of Defence, Budapest, Hungary on 16 September 2020. After the information about the purpose and details of the tests, the subjects signed the consent form. Abdominal circumference was measured at the navel level in a standing position.

We measured 19 healthy volunteers (6 females and 13 males). They were in a supine position on the tilting table. The length of the files were  $45.47 \pm 5.45$  (mean  $\pm$  SD) minutes in the tilting table and the sitting position in the LPC chamber was  $77.87 \pm 8.41$  minutes. The mean age ( $n = 19$ ) was  $22.68 \pm 1.49$  years; height was  $177.63 \pm 6.18$  cm, and body mass index was  $22.94 \pm 2.43$ . There was no significant difference between the male and female groups. There was a significant group difference in weight (male  $76.62 \pm 7.16$  kg and female  $63.33 \pm 3.98$  kg;  $p = 0.0001$ ). Abdominal circumference was significantly different ( $p = 0.03$ ) for the male ( $84.31 \pm 5.41$  cm) and female ( $75.17 \pm 7.81$  cm) groups.

## 2.2. Methods

### 2.2.1. REG/REGx

According to the USA FDA, "A rheoencephalograph is a device used to estimate a patient's cerebral circulation (blood flow in the brain) by electrical impedance methods with direct electrical connections to the scalp or neck area" [33]. Studies noted that REG reflects decreased vessel wall elasticity [34], [35], CBF AR [36], [37], ICP [38], intracranial volume change [39] showing a correlation with LDF [40]. An animal study using the ICM+ program demonstrated that the lower limit of CBF AR is well correlated to ICP and REG [41]. A human study presented the coincidence of CBF AR active/passive status and REG peak 2 (P2) morphological change [42]. A computer program was developed for monitoring, storing, and data processing analogue physiological signals (DataLyser – DL) [43] involved a menu to calculate PRx/REGx and Hjorth analysis [44].

### 2.2.2. Trendelenburg position

Head-down tilting (HDT) is a test used for military pilots/astronaut candidates as well to simulate microgravity [21]. The cause of elevated ICP in the HDT position is that venous outflow from the brain is damped. The morphological alteration of the ICP pulse wave increase was published in several articles [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32].

### 2.2.3. Breath-holding

There is a correlation between blood CO<sub>2</sub> concentration and CBF. This relationship is used in clinical EEG practice as a test to provoke pathological EEG waveforms during hyperventilation: The decreased CO<sub>2</sub> concentration decreasing CBF. To test the status of CBF AR, 5–10% CO<sub>2</sub> inhalation is used. Another clinical test is the acetazolamide injection. CO<sub>2</sub> increase can be triggered physiologically by breath-holding. Such a test applies to the ISS.

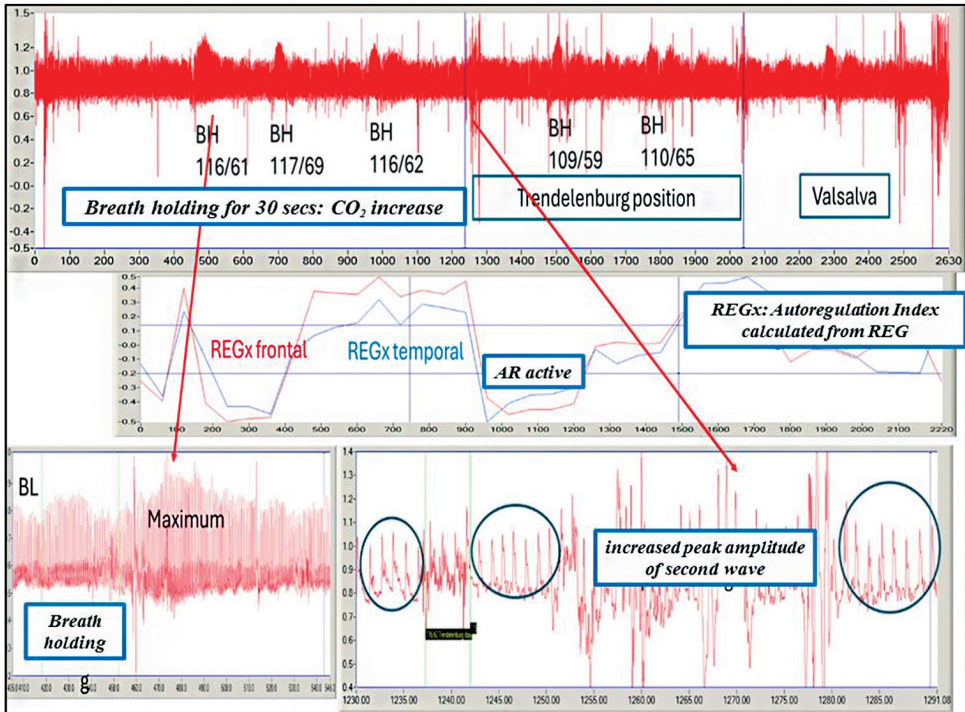


Figure 1.

Trace of bifrontal REG (upper trace) on a tilting table (edited by Michael Bodó in Datalyser program) [64]

(Note: HDT is labelled as Trendelenburg position. BH indicates the breath holdings. Under its label are the blood pressure [systolic/diastolic] numbers. The middle traces are the REGx traces. The lower trace shows fragments of REG during breath-holding [left side] and transition from horizontal to HDT position [right side]. Arrows indicate the location of magnified portions. The Y-axis is in Volt. The X-axis is in seconds. The window size is 2630 seconds, 43.83 min. The file name is April 26. 1.)

### 2.3. Equipment and materials

1) A bedside monitor (BeneVision N15, Mindray North America, Mahwah, NJ) was used to record  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , peripheral ( $\text{SpO}_2$ ), and brain  $\text{O}_2$  saturation by near-infrared spectroscopy (NIRS) with 1/sec sampling rate. The type of file is CSV. Arterial blood pressure (ABP) was measured by the arm cuff on the left arm on the tilting table. Also here, the ABP was measured 6 times: 3 times during the control period and 3 times during the Trendelenburg position, in both cases before 30-second breath-holding.

2) A bipolar bioimpedance amplifier (ReRON-61, Medcor, Esztergom, Hungary; measuring frequency 167 kHz) was used with an additional amplifier (BK-094-1; Elsoft BT, Budapest, Hungary) to amplify, filter, and switch symmetrical-to-asymmetrical signals. REG and lower arm bioimpedance signals were recorded together. The analogue signal of the air pressure of the LPC chamber (Chemical Machinery Factory, Kiskunfélegyháza, Hungary) was recorded, too.

3) *The sampling rate* of the analogue signals was 200 Hz with DataLyser software and an analogue-digital converter (USB 6211, National Instruments, Austin, TX). Data collection was performed with a laptop (Alienware, Dell, Round Rock, TX). Home-made electronics (John von Neumann University, Kecskemét, Hungary) created a pressure-related analogue signal and another for event markers, which were stored together with bioimpedance signals. Text notes were entered during the recording as events with time stamps, which helped identifying the challenges' start, stop, and numbers of actual ABP during data processing. DataLyser creates unidentified files by automatically generating both the waveform (binary) and the note file (ASCII).

## 2.4. Preparation

Electrodes were placed while volunteers were in a sitting position. Before electrode placement, the skin was cleaned with benzine and EEG cleaning paste. The electrodes were regular electrocardiogram electrodes. Their location were bifrontal: Fp1-Fp2 and bitemporal: F7-F8 according to the EEG 10-20 International System of Electrode Placement [45]. Rheogram electrodes were placed on the lower arm at the elbow and wrist, on hairless areas. NIRS sensors were placed above the REG electrodes on frontal areas and a headband was placed to secure them together with REG cables. During both recordings, a face mask (Varifit, with AIR gel technology; Sleepnet Corporation, Hampton, New Hampshire) was used to measure exhaled CO<sub>2</sub> and inhaled O<sub>2</sub> concentrations.

## 2.5. Tests

In this descriptive study, our goals were to describe changes in REG and its derivatives during the following tests: 1. HDT; 2. 30-second breath-holding; 3. simulated altitudes and hypoxia/hyperoxia; 4. to compare bifrontal to bitemporal REG derivations; 5. compare automatic P2 detection to manually calculated results.

The challenges were as follows:

A. *Tilting table* (Figure 1) 1. control/rest (0°) on tilting the table in the supine position for 20 minutes; 2. 30-sec breath-holding 3 times; 3. HDT – Trendelenburg position (–15°) during about 20 min and 30-sec breath-holding 3 times.

B. *LPC chamber* (Figure 2) at simulated altitudes of 0, 2500, and 4000 meters: 15 minutes; at 5200 meters 10 minutes. At each level, 100% O<sub>2</sub> was administered during the last 5 minutes, except at 5200 m, when it was administered all the time. The last 10 minutes were also at a 0-meter level (Figure 3).

## 2.6. Data processing

1. REG amplitudes: REG pulse wave's peak amplitudes were measured by manual cursor operation before and during breath-holding by DL in which there is an automatic peak detection menu, and the values of 5-10 pulse waves – involving the maximum amplitude – were marked and copied into Excel (Microsoft, Redmond, WA) spreadsheet. 50 Hz interference contamination

was eliminated by smoothing with a running average of 0.04 sec. Eye blinking, talking, etc. artifacts containing waveforms were excluded from data processing. For the control period, REG was measured before breath-holding. The effect of CO<sub>2</sub> was measured when the REG pulse first peak (P1) was the maximum. To compare manual and automatic detection of P2, a 10 REG pulse wave sample was selected.

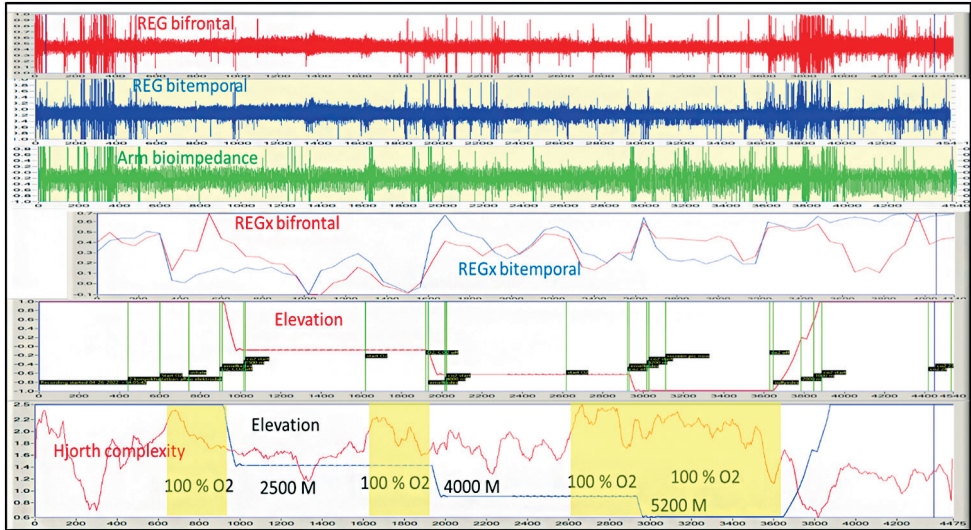


Figure 2.

Recording and data processing in the LPC chamber (edited by Michael Bodó in Datalyser program) [64]

Note: Traces are: bifrontal [upper trace], bitemporal REG, and arm bioimpedance pulses in the upper three are on upper three traces. REGx bifrontal and REGx bitemporal are on the middle panel. NB: The first REGx number is calculated at 300 sec/5 min. The two lower panels show the elevation levels [change of air pressure in the LPC chamber] as a function of time. The last but one block involves notes. At the bottom, there are traces of the levels in meters and the Hjorth complexity of frontal REG derivation. At each level, 100% O<sub>2</sub> was administered during the last 5 minutes, except at 5200 m, when it was administered all the time, indicated by the yellow colour. The window size is 4540 seconds [75.67 min.]. X-axis is in seconds. The file name is April 26 2.

2. PRx-REGx: The method of calculating secondary indices of CBF AR is based on the "moving correlation coefficient" [7], [9]. This method allows analysis of the degree of correlation between two factors within a time series where the number of paired observations is large. Time-averaged values from each factor (10 seconds) are plotted in an x–y scattergram in a moving correlation window of 5 minutes and renewed every interval from 10 seconds to 1 minute. The correlation coefficients are calculated as a simple Pearson correlation coefficient and range from maximal –1 (negative correlation) to +1 (positive correlation), and can be further analysed as a time-dependent variable [46].

3. Hjorth analysis: Hjorth developed an EEG analysis method [44]. One of these parameters is complexity, sometimes called the form factor. Complexity, giving a measure of excessive details concerning the "softest" possible curve shape, the sine wave, corresponds to unity. It is expressed as the number of standard slopes generated during the average time required to generate one standard amplitude as given by mobility. Due to the non-linear calculation of standard deviation, this parameter will quantify any deviation from the sine shape as an

increase from unity Hjorth complexity, giving a measure of excessive details concerning the "softest" possible curve shape, the sine wave, which corresponds to unity. It is expressed as the number of standard slopes generated during the average time required for generating one standard amplitude as given by the mobility.

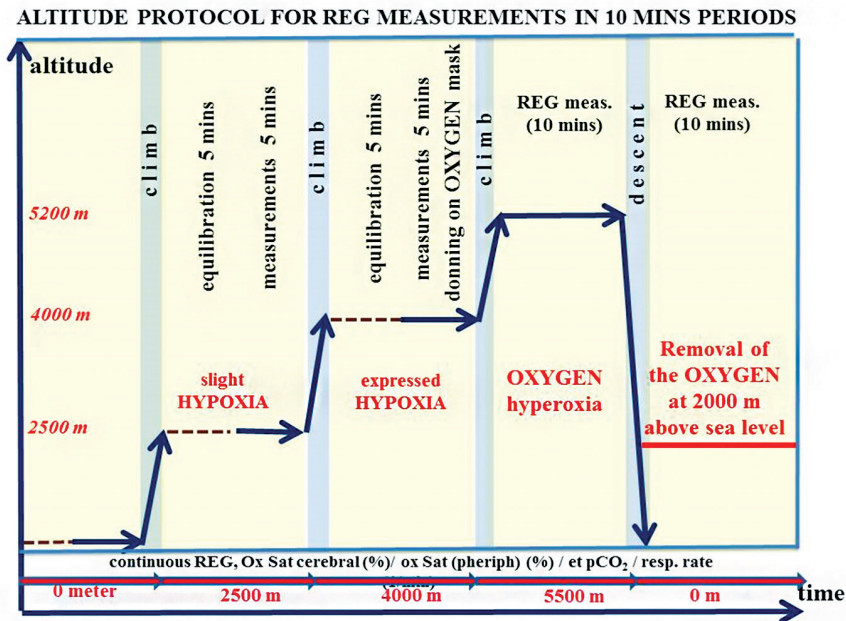


Figure 3.

REG altitude protocol with hypoxic and hyperoxic episodes in the LPC chamber [edited by Sándor Szabó]

Hjorth analysis was performed with a 5-second time window. From the REG signal Hjorth variables were calculated and smothered with running averages of 60 seconds, and data was copied into an Excel spreadsheet and averaged by male and female, as well as bifrontal and bitemporal groups – see Figure 3. A chamber pressure trace was added, and the last five minutes and the previous minute's mean were calculated. The initial 5 minutes were considered as control or baseline, and values during 100% O<sub>2</sub> inhalation were compared to this mean.

## 2.7. Statistical analyses

Two-way ANOVA was used to compare male and female REGx (Prism, GraphPad Software, Boston, MA). The t-test (in Excel) was also used to compare group means. Compared modalities were: 1. REG bifrontal and bitemporal derivations; 2. female-male groups. For automatic REG pulse wave analysis, an algorithm was developed and written in MATLAB (MATLAB R2023a), and the estimated P1s and P2s were also analysed with the MATLAB program (MATLAB R2023a, Statistics and Machine Learning Toolbox version 12.5) [47].  $P < 0.05$  was considered significant.

## 3. Results

### 3.1. Tilting table

#### 3.1.1. REG amplitude

There was no significant difference in mean bifrontal REG 1<sup>st</sup> peak amplitudes during breath holding between 1. control (before Trendelenburg position) and Trendelenburg position ( $p = 0$ ); neither 2. between male and female groups (male:  $2.35 \pm 7.5\%$  and female  $-0.27 \pm 3.6\%$  ( $p = 0.33$ )). Out of 19 subjects, only 10 (53%) showed REG 1<sup>st</sup> peak amplitude increase (0.02%;  $p = 0.46$ ). The 2<sup>nd</sup> peak increased in 15 subjects (78%); the "shoulder" formation on the cat-aortic (descending) side was in 11 subjects (58%). The mean percentage increase was 6.94% for females and 13.66% for males. The increase was significant in 5 cases (out of 6; 83%;  $P < 0.0001$ ; 95% confidence interval  $-0.04123$  to  $-0.02710$ ) for females and 8 for males (out of 13; 62%;  $P < 0.0001$ ; 95% confidence interval  $-0.05796$  to  $-0.05178$ ). However, the change of shape of the REG pulse waveform deformation was relevant (Figure 4).

#### 3.1.2. REG amplitude–breath-holding

There were three 30-second breath-holding tests during the control period and the HDT position. REG pulse first peak increased, but it was not significant ( $p = 0.16$ ) comparing control to HDT position for males ( $p = 0.16$ ) nor for females ( $p = 0.53$ ). The only significant differences were between male and female groups after the second ( $p = 0.02$ ) and the third 30-second breath-holding ( $p = 0.01$ ). There was no significant difference between male and female groups in REG pulse amplitude increases during the control period after 30-second breath-holding, nor between control and HDT position.

#### 3.1.3. REG derivatives

There was a significant difference ( $p = 0.03$ ) between male and female groups in bifrontal REGx, possibly because of the difference during the HDT position, starting about at the 15<sup>th</sup> minute. The correlation coefficient was 0.49, probably for the same reason. During HDT position (between 15–37 minutes) both groups' REGx values decreased, but the male values were more than the females ( $p = 0.0002$ ).

#### 3.1.4. Automatic P2 calculation

In the case of duration-matched data, the result was that the increase in P2 values during HDT was significant in 4 cases in the female group (4/5; 80%) and 11 cases in the male group (11/14; 79%). When using only the Wilcoxon test, the ratios were 4/5 (80%) and 10/14 (71%). Using the full length of the recording in each of the three phases, the results were slightly different (Figure 5).

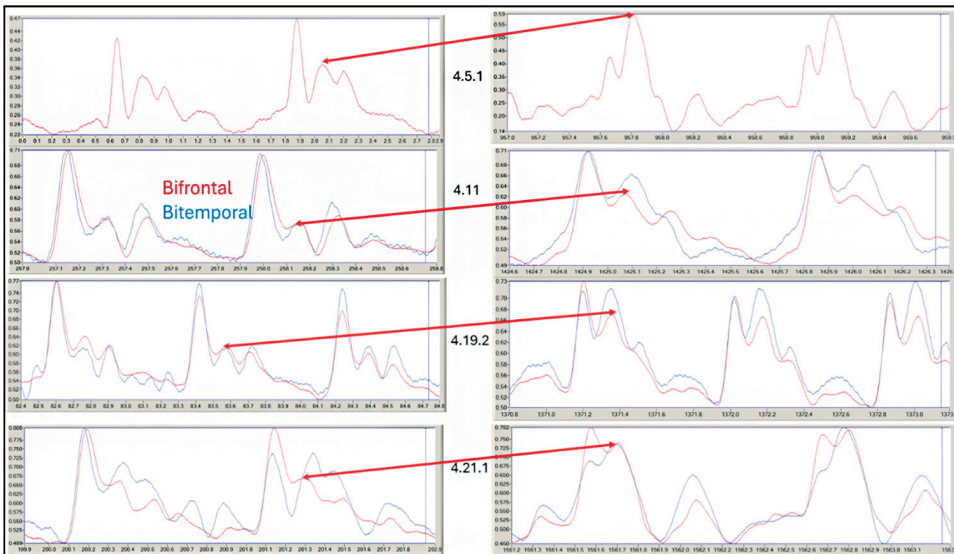


Figure 4.

Fragments of recording of bifrontal and bitemporal REG pulse waves during control/rest (before HDT position;  $0^\circ$ ), on the left side) and during HDT positions ( $-15^\circ$ ) (on the right side) in four subjects chamber [edited by Michael Bodó in Datalyser program]

Note: The color indicates derivation. The Y-axis is in Volt. X-axis is in seconds. The window size is about 3 sec. Subjects are labelled by the recording date, for example, 4.5.1: the first recording that day.

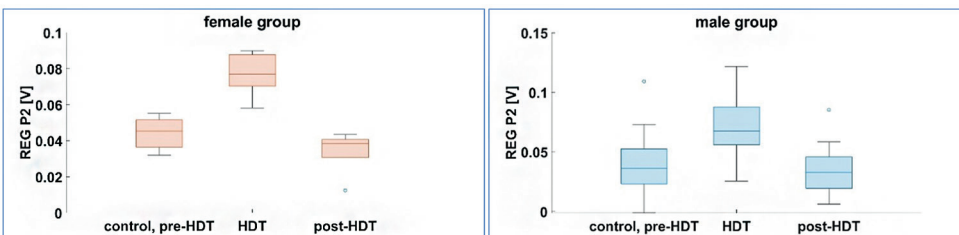


Figure 5.

Comparison of the group results of automated P2 calculations, the female group (left) and the male group (right) [edited by Michael Bodó, István Pintér, Mihály Bagány]

Note: REG P2 increase was significant for both females [ $p = 0.01$ ] and for males [ $p = 0.02$ ]. NB: the evaluation involved the full length of each phase. The mean file length was  $45:47 \pm 5:45$  min. HDT lasted about 15 minutes. There were 3 times 30-second breath-holding before and during HDT positions.

### 3.2. Low-pressure chamber (LPC)

#### 3.2.1. REG amplitude

REG traces showed a minimal amplitude decrease during 100% O<sub>2</sub> inhalation. During 4000 m before 100% O<sub>2</sub> inhalation, the REG amplitude decreased: in bifrontal derivation  $-4.19 \pm 8.39\%$ ,  $P = 0.039$ . During 100% O<sub>2</sub> inhalation in the bifrontal derivation, REG amplitude decrease was  $-8.69 \pm 9.66\%$ ,  $p = 0.0004$ . In bitemporal derivation, it was  $-7.19 \pm 34.08\%$ ,  $p = 0.0007$ . REG pulse amplitude decreased (percentage of control  $-3.92 \pm 8.14\%$ ) during 5200 m, but it was not significant ( $p = 0.09$ ). Neither the difference between the female and male groups ( $p = 0.69$ ).

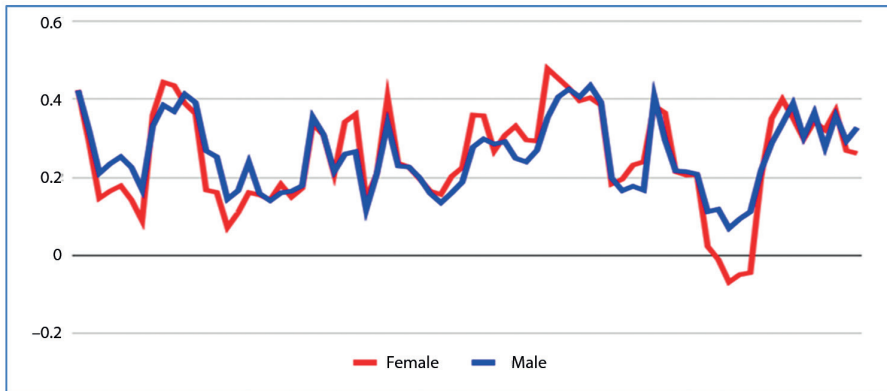


Figure 6.  
Group average of bifrontal REGx in female and male groups in the LPC chamber  
[edited by Michael Bodó, István Pintér, Mihály Bagány]



Figure 7.  
Group average of bitemporal REGx in female and male groups in the LPC chamber  
[edited by Michael Bodó, István Pintér, Mihály Bagány]

### 3.2.2. REG derivatives

Calculated REG variables (REGx and Hjorth parameters) showed similar oscillations, but there was no correlation to the simulated altitude. Hjorth complexity: The correlation coefficient between bifrontal and bitemporal REG derivations in the LPC chamber was  $0.80 \pm 0.12$ . The male-female difference was not significant ( $p = 0.36$ ). The correlation coefficient between bifrontal and bitemporal REGx was 0.77. The difference between males and females REGx was significant ( $p = 0.0001$ ;  $R^2: 0.51$ ). The overall trend was similar. The difference was not significant ( $p = 0.41$ ; correlation coefficient: 0.09) (Figures 6–9).

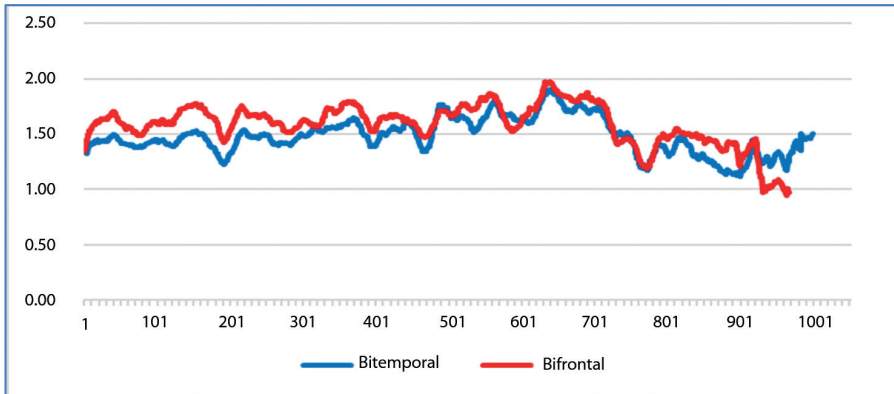


Figure 8.

*Group average of bifrontal and bitemporal Hjorth complexity in female and male groups in the LPC chamber*  
[edited by Michael Bodó, István Pintér, Mihály Bagány]

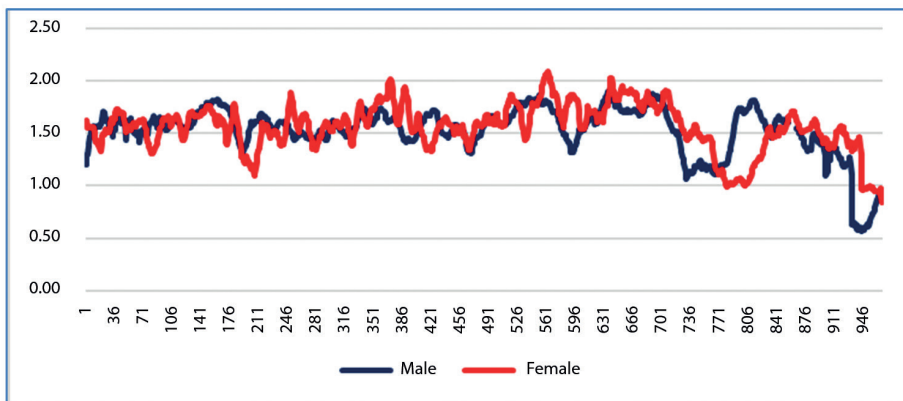


Figure 9.

*Group average of bifrontal Hjorth complexity in female and male groups in the LPC chamber*  
[edited by Michael Bodó, István Pintér, Mihály Bagány]

## 4. Discussion

From the flight safety aspect, the proper working capability and mental performance of the pilot are emphasised in all human error models, assuming proper functional responsiveness in brain circulation and oxygen utilisation in any flight manoeuvre related to acceleration (or microgravity) and hypoxia [1], [5]. In this descriptive study, we described that *during HDT position*, 1. REG pulse wave morphology changed like ICP pulse wave morphology during ICP elevation (P2 increase); 2. REGx indicated active CBF AR at the start of HDT; 3. bifrontal and bitemporal REGx group averages were similar in female and male groups; 4. bifrontal and bitemporal Hjorth complexity group averages were similar in female and male groups. The 30-second breath holding resulted in REG pulse amplitude increase with interindividual differences. The developed program was able to detect a P2 increase of 92%. During *simulated altitude*, REG pulse amplitude decreased during 100% O<sub>2</sub> inhalation. Bitemporal and bifrontal REGx correlated well, as well as the Hjorth complexity for female and male groups.

### 4.1. Military aviation

A counteraction of the G force of a dive-bomber pilot [48] was described by Kleiss [49], who said he rarely used 4G pullout in a high-threat area. He often used 7, 8, or even 9Gs, significantly reducing his pullout altitude. But during a pullout at 9G's, a 200-pound pilot would weigh about 1,800 pounds, and every part of his body – arms, legs, head – would weigh an equivalent to nine times its normal weight. His blood would rush toward his lower extremities. When the flow of the blood passed his eyes, he would begin to black out. A gray curtain would seem to descend over his eyes. He would still be conscious, but temporarily blind. To prevent this, Kleiss used a technique that today we call an "anti-G straining manoeuvre," or AGSM, which is like a breathing method known as Valsalva [50]. He would take a big breath, hold it, and strain or grunt to help prevent the blood from continuing its downward flow. He would then quickly release the breath, draw another, and grunt again. Once the pullout was completed, he would discontinue this AGSM [49].

The good news is that the Canary™ system [6] is available today and measures blood perfusion, heart rate, and oxygen saturation; noninvasive; fully integrated into the Helmet Mounted Display (HMD) system, supporting JHMCS-II, Digital-JHMCS, and the Targo™ families; no external hardware or wiring modification required; provides pilots with early warning of developing hypoxia condition; provides feedback on the quality of pilots' Anti-G Straining Manoeuvre (AGSM) and G-LOC hazard level; detects and helps prevent G-LOC, and enables autopilot recovery [6].

### 4.2. Space flight

Long duration spaceflight alters intracranial tissue and fluid position [51]. In the Apollo–Soyuz collaboration, bioimpedance measurement was introduced in space research. It was used to study systemic and regional hemodynamics [52] and brain circulation [53]. There are several Russian language REG-related publications translated to English in the NASA database (NASA

Technical Reports Server – NTRS). The 2024 NASA Human Research Program Investigators' Workshop (February 13–15) involves SANS sections as well. SANS develops in approximately 70% of crewmembers completing ~6-month long standard-duration missions to the International Space Station, and is thought to result from the weightlessness-induced headward fluid shift. Terrestrial analogue studies that have used a 30-day strict 6° head-down tilt (HDT) bedrest to mimic this chronic fluid shift have demonstrated similar ocular changes to SANS, including optic disc oedema and chorioretinal folds. Several presentations/posters have used HDT, since it was established as a spaceflight analogue to investigate SANS [54]. The ICP measurement is planned to be performed before and after space flight invasively, by lumbar puncture [55]. The primary signs of SANS include optic disc oedema (ODE), chorioretinal folds, posterior globe flattening, and hyperopic shifts in refractive error. Each of these signs presents a potential risk to a crewmember's vision and mission effectiveness, with ODE posing the highest risk overall [56]. Based on the above facts, the noninvasive REG is a potential tool to study the cerebrovascular aspect of SANS. While the aetiology of SANS is currently unknown, headward fluid shifts due to microgravity in space are hypothesised to be a major contributing factor. A countermeasure (CM) that can successfully redistribute body fluids like the upright position on Earth may thus be important for SANS prevention [57]. REG can be used to quantify the effect of CM.

### 4.3. Hjorth complexity

As a relevance for signal processing modality, a PubMed search was executed with the keywords "Hjorth complexity and brain blood volume"; "Hjorth complexity and ICP"; "Hjorth complexity and hypoxia"; "Hjorth complexity and CBF" which resulted in no hits. On the contrary, "Hjorth complexity and EEG" resulted in 41 hits (15 December 2023). Articles covered health subjects and patient studies. Many hits were found based on EEG and did not involve Hjorth complexity. A study found a significant decrease in Hjorth complexity following alcohol consumption [58]. Pathological disorder studies on schizophrenia, posttraumatic stress disorder, panic disorder, and epilepsy have reported lower Hjorth complexity in pathological states compared to healthy subjects [59]. A study claims that lower EEG complexity is attributed to abnormal neural integration in the above-mentioned mental disorders [60].

### 4.4. Actuality

The first Hungarian in Space event was in 1980: Bertalan Farkas, along with Soviet cosmonaut Valery Kubasov, was launched into space on Soyuz 36 from Baikonur Cosmodrome on 26 May 1980, at 18:20 (UTC). While in orbit, Farkas conducted experiments in material and medical sciences. After 7 days, 20 hours, and 45 minutes, and having completed 124 orbits, Farkas and Kubasov returned to Earth, landing 140 km southeast of Jezkazgan. He used a device, called Balaton (Medicor, Budapest, Hungary) to test psychophysiological status [61].

The Hungarian government decided to send a second Hungarian astronaut to ISS with Axiom Space Agency ([www.axiomspace.com/](http://www.axiomspace.com/)) in 2024/25 for one month. This was the

background that we started testing REG measurements with this goal: let's bring the Hungarian astronaut a REG device to the ISS, similarly as it was done in 1980.

We applied for the Hunor grant program to build a REG device that the Hungarian astronaut can bring to the ISS and make measurements at the same time when the OCT and fundoscopic measurements will be performed to establish a correlation to the SANS status.

## 5. Conclusions

- REG pulse wave morphology change (peak 2 increase) during HDT is identical to ICP pulse wave change during ICP elevation/decreased intracranial compliance;
- a MATLAB script was created and successfully identified REG peak 2 automatically;
- manual and automated measurement of REG Peak 2 showed a strong correlation (92%);
- REG offers additional data processing;
- REGx can be a suitable, noninvasive alternative to PRx for use in head-injured and hypotensive patients;
- REG can monitor the status of CBF AR on the battlefield, during transport, hypotensive resuscitation, and in PEEP-ventilated subjects;
- REG monitoring fits into the USU Surgical Critical Care Initiative (SC2i), which focuses on developing Clinical Decision Support Tools for Critical Care [62];
- a study was initiated to compare invasive and noninvasive neuromonitoring (ICP & REG);
- a US Army grant application was submitted to build a prototype REG monitor as a useful tool for prehospital care and triage;
- bioimpedance offers multimodal noninvasive monitoring;
- conductive fabrics can be used as reusable electrodes [63];
- REG electrodes and electronics can be placed into the helmet;
- the applications of REG monitoring can be used in neurocritical care, space research, military aviation and transporting wounded Service Members, civilian emergency medicine, and mass casualty evacuation.

## *Acknowledgments*

Recognition goes to measured volunteers; the technical support (Andrea Kálmán-Tóthné, Anikó Kerekes-Zámbóné, Levente Varga, Szilveszter Szabó, László Móczár); Lajos Zoltai, and József Vörös for creating REG device; György Thuróczy to loan the REG device; Lajos Baranyi, Matt Dennie, Kevin Hoofallen, Frederick Pearce for DataLyser development; István Lepsényi, Daniel Löwy, Mátyás Palik and Piroska Szalay for their organisational help.

## *Disclosure information*

None of the authors has any conflicts of interest.

## References

- [1] Z. Dudás, 'Interpretations of Human Error in Aviation'. *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 33, no. 1, pp. 49–57. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.5>
- [2] G. G. Cable, 'In-Flight Hypoxia Incidents in Military Aircraft: Causes and Implications for Training'. *Aviation Space and Environmental Medicine*, Vol. 74, no. 2, pp. 169–172. 2003.
- [3] J. J. Elliott, D.R. Schmitt, 'Unexplained Physiological Episodes. A Pilot's Perspective'. *Air & Space Power Journal*, Vol. 33, no. 3, pp. 15–32. 2019.
- [4] E. G. Damato, et al., 'Neurovascular and Cortical Responses to Hyperoxia: Enhanced Cognition and Electroencephalographic Activity despite Reduced Perfusion'. *The Journal of Physiology*, Vol. 598, no. 18, pp. 3941–3956. 2020. Online: <https://doi.org/10.1113/JP279453>
- [5] D. M. Shaw, et al., 'Recovery from Acute Hypoxia: A Systematic Review of Cognitive and Physiological Responses during the 'Hypoxia Hangover''. *PLoS One*, Vol. 18, no. 8, pp. e0289716. 2023. Online: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289716>
- [6] Canary™ Pilot physiological monitoring system. Elbit Systems Ltd. Haifa, Israel. Online: [www.elbitsystems-uk.com/what-we-do/air-space/aircraft-systems/helmet-mounted-displays](http://www.elbitsystems-uk.com/what-we-do/air-space/aircraft-systems/helmet-mounted-displays)
- [7] Szabó, S. A. et al., 'Az oxigéndeficit repülésbiztonsági jelentősége és lehetséges magyarázata agyi pulzoximetria NIRS eredményei alapján, szimulált repülési stresszhelyzetben'. in *Repüléstudományi tanulmányok*, Eds., L. Szilvássy, B. Békési, Budapest, Ludovika, pp. 11–42. 2020.
- [8] K. Domján, G. Vada, 'Katonai pilóták élettani paramétereinek monitorozása szimulált repülési körülmények között'. *Haditechnika*, Vol. 2020, no. 3. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.54.3.01>
- [9] R. Setlow, 'The Hazards of Space Travel'. *EMBO Reports*, Vol. 4, no. 11, pp. 1013–1016. 2003. Online: <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400016>
- [10] A. G. Lee et al., 'Space Flight-Associated Neuro-Ocular Syndrome (SANS)'. *Eye*, Vol. 32, no. 7, pp. 1164–1167. 2018. Online: <https://doi.org/10.1038/s41433-018-0070-y>
- [11] Y. Martin Paez, L. I. Mudie, P. S. Subramanian, 'Spaceflight Associated Neuro-Ocular Syndrome (SANS): A Systematic Review and Future Directions'. *Eye and Brain*, Vol. 19, no. 12, pp. 105–117. 2020. Online: <https://doi.org/10.2147/EB.S234076>
- [12] J. Ong, A. et al., 'Neuro-Ophthalmic Imaging and Visual Assessment Technology for Spaceflight Associated Neuro-Ocular Syndrome (SANS)'. *Survey of Ophthalmology*, Vol. 67, no. 5, pp. 1443–1466. 2022. Online: <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2022.04.004>
- [13] K. Marshall-Goebel, R. Damani, E. M. Bershad, 'Brain Physiological Response and Adaptation during Spaceflight'. *Neurosurgery*, Vol. 85, no. 5, pp. E815–E821. 2019. Online: <https://doi.org/10.1093/neuros/nyz203>
- [14] A. P. Michael, K. Marshall-Bowman, 'Spaceflight-Induced Intracranial Hypertension'. *Aerospace Medicine and Human Performance*, Vol. 86, no. 6, pp. 557–562. 2015. Online: <https://doi.org/10.3357/AMHP.4284.2015>
- [15] L. F. Zhang, A. R. Hargens, 'Spaceflight-Induced Intracranial Hypertension and Visual Impairment: Pathophysiology and Countermeasures'. *Physiological Reviews*, Vol. 98, no. 1, pp. 59–87. 2018. Online: <https://doi.org/10.1152/physrev.00017.2016>

- [16] P. Liu, J. B. De Vis, H. Lu, 'Cerebrovascular Reactivity (CVR) MRI with CO<sub>2</sub> Challenge: A Technical Review'. *NeuroImage*, Vol. 15, no. 187, pp. 104–115. 2019. Online: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.03.047>
- [17] J. Law et al. 'Relationship between Carbon Dioxide Levels and Reported Headaches on the International Space Station'. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 56, no. 5, pp. 477–483. 2014. Online: <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000158>
- [18] K. A. Zuj et al. 'Impaired Cerebrovascular Autoregulation and Reduced CO<sub>2</sub> Reactivity after Long-Duration Spaceflight'. *American Journal of Physiology- Heart and Circulatory Physiology*, Vol. 302, no. 12, pp. 2592–2598. 2012. Online: <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00029.2012>
- [19] M. Boerma, et al. 'Space Radiation and Cardiovascular Disease Risk.' *World Journal of Cardiology*, Vol. 26, no. 7(12), pp. 882–888. 2015. Online: <https://doi.org/10.4330/wjc.v7.i12.882>
- [20] A. F. Sagirov et al. 'Postural Influence on Intracranial Fluid Dynamics: An Overview'. *Journal of Physiological Anthropology*, Vol. 13, no. 42, pp. 3013. 2023. Online: <https://doi.org/10.1186/s40101-023-00323-6>
- [21] M. Kermorgant et al., 'Impacts of Microgravity Analogs to Spaceflight on Cerebral Autoregulation'. *Frontiers in Physiology*, Vol. 3, no. 11, pp. 778. 2020. Online: <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00778>
- [22] M. Czosnyka, et al., 'Monitoring of Cerebrovascular Autoregulation: Facts, Myths, and Missing Links.' *Neurocrit Care*. Vol. 10, no. 3, pp. 373–386. 2009. Online: <https://doi.org/10.1007/s12028-008-9175-7>
- [23] M. Rubin et al., 'Noninvasive Monitoring'. in *Neurotrauma and Critical Care of the Brain*, Eds., J. Jallo, C. M. Loftus, New York, Thieme, 2009, p. 53.
- [24] University of Cambridge, ICM+. Online: <https://icmplus.neurosurg.cam.ac.uk/>
- [25] J. Donnelly, M. J. Aries, M. Czosnyka, 'Further Understanding of Cerebral Autoregulation at the Bedside: Possible Implications for Future Therapy'. *Expert Review of Neurotherapeutics*, Vol. 15, no. 2, pp. 169–185. 2015. Online: <https://doi.org/10.1586/14737175.2015.996552>
- [26] S. Brasil, 'Intracranial Pressure Pulse Morphology: the Missing Link?' *Intensive Care Medicine*, Vol. 48, no. 11, pp. 1667–1669. 2022. Online: <https://doi.org/10.1007/s00134-022-06855-2>
- [27] M. Harary, R. G. F. Dolmans, W. B. Gormley, 'Intracranial Pressure Monitoring – Review and Avenues for Development'. *Sensors*, Vol. 18, no. 2, pp. 1–15. 2018. Online: <https://doi.org/10.3390/s18020465>
- [28] M. Czosnyka, Z. Czosnyka, 'Origin of Intracranial Pressure Pulse Waveform.' *Acta Neurochirurgica*, Vol. 162, pp. 1815–1817. 2020. Online: <https://doi.org/10.1007/s00701-020-04424-4>
- [29] T. Ellis, J. McNames, M. Aboy, 'Pulse Morphology Visualization and Analysis with Applications in Cardiovascular Pressure Signals'. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 54, no. 9, pp. 1552–1559. 2007. Online: <https://doi.org/10.1109/TBME.2007.892918>
- [30] G. Cucciolini, V. Motroni, M. Czosnyka, 'Intracranial Pressure for Clinicians: It Is Not Just a Number'. *Journal of Anesthesia, Analgesia and Critical Care*, Vol. 3, no. 31, 2023. Online: <https://doi.org/10.1186/s44158-023-00115-5>

- [31] M. Kasprovicz, et al., 'Pattern Recognition of Overnight Intracranial Pressure Slow Waves Using Morphological Features of Intracranial Pressure Pulse'. *Journal of Neuroscience Methods*, Vol. 190, no. 2, pp. 310–318. 2010. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2010.05.015>
- [32] C. Mataczyński, A. et al., 'End-to-End Automatic Morphological Classification of Intracranial Pressure Pulse Waveforms Using Deep Learning'. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 2022 Vol. 26, no. 2, pp. 494–504. 2022. Online: <https://doi.org/10.1109/JBHI.2021.3088629>
- [33] Code of Federal Regulations, Rheoencephalograph (a) Identification Code of Federal Regulations Title 21, vol 8, Sec 882. 1825. Online: [www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-H/part-882/subpart-B/section-882.1825](http://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-H/part-882/subpart-B/section-882.1825)
- [34] F. L. Jenkner, *Clinical Rheoencephalography: A Non-Invasive Method for Automatic Evaluation of Cerebral Hemodynamics*. Vienna, Ertl Druck, 1986.
- [35] M. Bodó et al., 'Prevalence of Stroke/Cardiovascular Risk Factors in Rural Hungary – A Cross-Sectional Descriptive Study'. *Ideggyógyászati Szemle*, Vol. 61, no. 3–4, pp. 87–96. 2008. Online: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/224/1/012115>
- [36] M. Bodó, F. J. Pearce, L. Baranyi, R. A. Armonda, 'Changes in the Intracranial Rheoencephalogram at Lower Limit of Cerebral Blood Flow Autoregulation'. *Physiological Measurement*, Vol. 26, no. 2, pp. S1–17. 2005. Online: <https://doi.org/10.1088/0967-3334/26/2/001>
- [37] M. Bodó et al., 'Measurement of Cerebral Blood Flow Autoregulation with Rheoencephalography: A Comparative Pig Study'. *Journal of Electrical Bioimpedance*, Vol. 9, no. 1, pp. 123–132. 2018. Online: <https://doi.org/10.2478/joeb-2018-0017>
- [38] M. Bodó et al., 'Rheoencephalographic Changes during Increased Intracranial Pressure'. in *Pharmacology of Cerebral Ischemia*. Ed., J. Kriegelstein, Amsterdam, Elsevier, pp. 265–269. 1986.
- [39] M. Bodó et al., 'Influence of Volume and Change on the Electrical Impedance Signal (In Vitro)'. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 22, 012111. 2010. Online: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/224/1/012111>
- [40] M. Bodó et al., 'Correlation of Rheoencephalography and Laser Doppler Flow: A Rat Study'. *Journal of Electrical Bioimpedance*, Vol. 7, no. 1, pp. 55–58. 2016. Online: <https://doi.org/10.5617/jeb.2985>
- [41] K. M. Brady et al., 'Monitoring Cerebrovascular Pressure Reactivity with Rheoencephalography'. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 224, 012089. 2010. Online: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/224/1/012089>
- [42] L. A. Cannizzaro et al., 'Noninvasive Neuromonitoring with Rheoencephalography: A Case Report'. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, Vol. 37, no. 5, pp. 1413–1422. 2023. Online: <https://doi.org/10.1007/s10877-023-00985-8>
- [43] L. Baranyi et al., 'Datalyser Program'. Online: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21169.25442>
- [44] B. Hjorth, 'The Physical Significance of Time Domain Descriptors in EEG Analysis'. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 34, no. 3, pp. 321–325. 1973. Online: [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(73\)90260-5](https://doi.org/10.1016/0013-4694(73)90260-5)
- [45] J. N. Acharya et al., 'Guideline 2: Guidelines for Standard Electrode Position Nomenclature'. *Journal of Clinical Neurophysiology*, Vol. 33, no. 4, pp. 308–311. Online: <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000316>

- [46] C. Zweifel, C. Dias, P. Smielewski, M. Czosnyka, 'Continuous Time-Domain Monitoring of Cerebral Autoregulation in Neurocritical Care'. *Medical Engineering and Physics*, Vol. 36, no. 5, pp. 638–645. 2014. Online: <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2014.03.002>
- [47] MATLAB Mathworks, Natick, MA. Online: [www.mathworks.com/products/new\\_products/latest\\_features.html](http://www.mathworks.com/products/new_products/latest_features.html)
- [48] Wikipedia, *SBD Dauntless*. Online: [https://en.wikipedia.org/wiki/Douglas\\_SBD\\_Dauntless](https://en.wikipedia.org/wiki/Douglas_SBD_Dauntless)
- [49] World War II Aviation, *SBD Dauntless dive bomber – a pilot's perspective*. National Museum of World War II Aviation. Colorado Springs, CO. March 4, 2021. Online: [www.worldwariaviation.org/sbd-dauntless-dive-bomber-a-pilots-perspective](http://www.worldwariaviation.org/sbd-dauntless-dive-bomber-a-pilots-perspective)
- [50] S. Srivastav, R. T. Jamil, R. Zeltser, *Valsalva Maneuver*. Online: [www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537248/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537248/)
- [51] K-I. Iwasaki et al., 'Long-Duration Spaceflight Alters Estimated Intracranial Pressure and Cerebral Blood Velocity'. *The Journal of Physiology*, Vol. 599, no. 4, pp. 1067–1081. 2021. Online: <https://doi.org/10.1113/JP280318>
- [52] A. D. Yegorov, *Results of Medical Studies during Long-Term Manned Flights on the Orbital Salyut-6 and Soyuz Complex*. NASA technical memorandum; NASA TM-76014. National Aeronautics and Space Administration, Washington, D. C. 1979, 20546.
- [53] I. I. Kas'yan et al., 'Pattern of Blood Circulation in the Brain during Rest and Functional Tests by Salyut-4 Space Crewmen'. *Biology Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR*, Vol. 7, no. 2, pp. 83–89. 1980.
- [54] P. A. Sibony et al., Ocular Deformations in Spaceflight-Associated Neuro-Ocular Syndrome and Idiopathic Intracranial Hypertension. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, Vol. 64, No. 3, 2023. Online: <https://doi.org/10.1167/iovs.64.3.32>
- [55] J-W. Yang et al., Spaceflight-Associated Neuro-Ocular Syndrome: A Review of Potential Pathogenesis and Intervention. *International Journal of Ophthalmology*, Vol. 15, No. 2, pp. 336–341. 2021. Online: <https://doi.org/10.18240/ijo.2022.02.21>
- [56] J. Ong et al., Spaceflight Associated Neuro-Ocular Syndrome: Proposed Pathogenesis, Terrestrial Analogues, and Emerging Countermeasures. *International Journal of Ophthalmology*, Vol. 107, No. 7, 895–900. 2023. Online: <https://doi.org/10.1136/bjo-2022-322892>
- [57] Y. Martin Paez et al., Spaceflight Associated Neuro-Ocular Syndrome (SANS): A Systematic Review and Future Directions. *Eye Brain*, Vol. 19, No. 12, pp. 105–117. 2020. Online: <https://doi.org/10.2147/EB.S234076>
- [58] I. Lehtinen, A. H. Lang, E. Keskinen, 'Acute Effect of Small Doses of Alcohol on the NSD Parameters (Normalized Slope Descriptors) of Human EEG'. *Psychopharmacology*, Vol. 60, no. 1, pp. 87–92. 1978. Online: <https://doi.org/10.1007/BF00429184>
- [59] T. Takahashi, 'Complexity of Spontaneous Brain Activity in Mental Disorders'. *Progress in Neuropsychopharmacology and Biological Psychiatry*, Vol. 45, pp. 258–266. 2013. Online: <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2012.05.001>
- [60] G. V. Portnova, M. S. Atanov, 'Nonlinear EEG Parameters of Emotional Perception in Patients with Moderate Traumatic Brain Injury, Coma, Stroke and Schizophrenia'. *AIMS Neuroscience*, Vol. 5, no. 4, pp. 221–235. 2018. Online: <https://doi.org/10.3934/Neuroscience.2018.4.221>
- [61] P. Remes, *Az első magyar űrrepülés története*. Kecskemét, 2020. Online: <https://doi.org/10.29068/HO.2020.1-2.45-76>

- [62] USU, *Surgical Critical Care Initiative*. Online: <https://medschool.usuhs.edu/sur/research/sc2i>
- [63] M. Bodó, F. J. Pearce, M. Sowd, 'In Vitro and In Vivo Studies for a Bio-Impedance Vital-Sign Monitor.' DTIC Technical Report, 2006. Online: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a460555.pdf>
- [64] S. Szabo et al., Rheoencephalography: A Non-Invasive Method for Neuromonitoring. *Journal of Electrical Bioimpedance*, Vol. 15, No. 1, pp. 10–25. 2024. Online: <https://doi.org/10.2478/joeb-2024-0003>

## **Az űrrepülés élettani kihívásai és földi szimulációs lehetőségek az agyi keringési változások nyomon követésére: reoencefalográfiás eredmények**

A katonai repülés és az űrrepülés különleges pszichés és szomatikus stressztűrő képességet kíván, amelyhez alapvető a szellemi teljesítményt meghatározó agyi vérkeringés és oxigénszállítás teljes funkcionális épsége. Jelenleg a jelöltek alkalmassági vizsgálatánál, szűrésénél azonban a mai napig nincs ilyen, az agyi keringést és annak önszabályozását (autoregulációját –AR) minősítő eljárás, miközben a pilóta mentális terhelése vagy „fej-láb irányú túlterhelése” alatt információfeldolgozó képessége kritikus helyzetben elégtelenné válhat. Az űrállomáson, a tervezett mélyűri missziók során viszont ellenkezőleg, a súlytalanság miatt feji-nyaki régióba irányuló véráthelyeződés koponyaűri nyomás- (ICP) fokozódást, és a földi körülményekhez képest akár tízszer magasabb szén-dioxid-szint a szemben és az agyban keringési problémákat és panaszokat okozhat (Space Associated Neuro-Ocular Syndrome – SANS). A keringési dinamika és agyi oxigénellátás változásait billenőasztalon és barokamrában vizsgáltuk, 19 főnél regisztráltuk a bioimpedancia elvén működő eljárással (reoencefalogram – REG) a pulzushullámot a fejen és az alkaron, légzésviszszatartás után. Megállapítottuk, hogy a billenőasztalon „fej-le” helyzetben a REG pulzushullám második csúcának amplitúdója megnő, hasonlóan az ICP-pulzushullámhoz, amely a klinikumban koponyaűri nyomásfokozódként kedvezőtlen jel. A kézi leolvasás szignifikáns különbséget eredményezett a női ( $P = 0,0007$ ) és a férfi ( $P < 0,0001$ ) csoportban a nyugalmi és a „fej-le” helyzet között. Automatizált elemzéssel is a REG P2 növekedése szignifikáns volt, és az arány 4/5 (80%) volt a nőknél és 10/14 (71%) a férfiaknál, ezt a munkacsoport által megírt automatikus program 92%-ban képes volt kimutatni. A számított értékek detektálták az agyi keringési autoreguláció állapotát és a férfi és női csoport közötti azonosságot. Ezen eredmény és korábbi REG korrelációs vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a REG mint agyi keringést és koponyaűri nyomásváltozást noninvaszív módon jelző eljárás használható vadászpilóták, űrhajósok és idegsebészeti őrző osztályos betegek valós idejű monitorozására, vészhelyzeti riasztás céljából, az agyi keringés átmeneti megszűnésekor.

**Kulcsszavak:** koponyaűri nyomás, noninvaszív, reoencefalográfia, szimuláció, Trendelenburg pozíció, hypobárikus hypoxia

<p>Dr. habil. Szabó Sándor András ezredes, MH repülő főszakorvos Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Kecskeméti Repülõorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet tanzékvezetõ, docens Szegedi Tudományegyetem Szent-Györgyi Albert Általános Orvostudományi Kar Repülõ és Űrorvosi Tanszék <a href="mailto:sasi19620@gmail.com">sasi19620@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-1362-4723">orcid.org/0000-0002-1362-4723</a></p>	<p>Sándor András Szabó, MD, PhD Colonel, Chief Flight Surgeon Hungarian Defence Forces Medical Center Aeromedical, Military Medical Screening and Healthcare Institute Head of Department, Associate Professor University of Szeged Faculty of General Medicine "Albert Szent- Györgyi" Department of Aviation and Space Medicine <a href="mailto:sasi19620@gmail.com">sasi19620@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-1362-4723">orcid.org/0000-0002-1362-4723</a></p>
<p>Dr. Bodó Mihály kutatóorvos, adjunktus Összhaderõnemi Egészségtudományi Egyetem Sebészeti osztály, Idegsebészeti csoport Bethesda, Maryland, Amerikai Egyesült Államok <a href="mailto:michaelbodo1947@gmail.com">michaelbodo1947@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-6046-1154">orcid.org/0000-0002-6046-1154</a></p>	<p>Michael Bodó, MD, PhD, Research Scientist, Adjunct Associate Professor Uniformed Services University of the Health Sciences Surgery (Division of Neurosurgery) Bethesda, MD, USA  <a href="mailto:michaelbodo1947@gmail.com">michaelbodo1947@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-6046-1154">orcid.org/0000-0002-6046-1154</a></p>
<p>Dr. Nagy-Bozsok József PhD-hallgató, általános orvos Simmelweis Egyetem Doktori Iskola Szív-érrendszeri Orvostudományi és Kutatási Program <a href="mailto:jozsef.nagybozsoky@gmail.com">jozsef.nagybozsoky@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0003-3130-451X">orcid.org/0000-0003-3130-451X</a></p>	<p>József Nagy-Bozsok, MD PhD Student, Doctor of General Medicine Simmelweis University, PhD Doctoral School Cardiovascular Medicine and Research Program <a href="mailto:jozsef.nagybozsoky@gmail.com">jozsef.nagybozsoky@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0003-3130-451X">orcid.org/0000-0003-3130-451X</a></p>
<p>Dr. Pintér István tudományos főmunkatárs Neumann János Egyetem GAMF Műszaki és Informatikai Kar Informatikai Tanszék  <a href="mailto:pintyoe@gmail.com">pintyoe@gmail.com</a>, <a href="mailto:pinter.istvan@nje.hu">pinter.istvan@nje.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-2180-0504">orcid.org/0000-0002-2180-0504</a></p>	<p>István Pintér, PhD Senior Research Fellow John von Neumann University GAMF Faculty of Engineering and Computer Science Department of Informatics <a href="mailto:pintyoe@gmail.com">pintyoe@gmail.com</a>, <a href="mailto:pinter.istvan@nje.hu">pinter.istvan@nje.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-2180-0504">orcid.org/0000-0002-2180-0504</a></p>
<p>Dr. Bagány Mihály fizikus, nyugalmazott docens Neumann János Egyetem GAMF Műszaki és Informatikai Kar Alaptudományi Tanszék  <a href="mailto:bagany.mihaly@gmail.com">bagany.mihaly@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0009-0007-9935-8641">orcid.org/0009-0007-9935-8641</a></p>	<p>Mihály Bagány, PhD Physicist, Retired Associate Professor John von Neumann University Faculty of Engineering and Computer Science Department of Natural Sciences and Engineering <a href="mailto:bagany.mihaly@gmail.com">bagany.mihaly@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0009-0007-9935-8641">orcid.org/0009-0007-9935-8641</a></p>

---

Kora Szilvia PhD-hallgató űr biotechnológus, rehabilitációs szakértő Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Kar, Doktori Iskola <a href="mailto:silviasabokora@gmail.com">silviasabokora@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0009-0000-1787-3711">orcid.org/0009-0000-1787-3711</a>	Szilvia Kora PhD student Space Biotechnologist, Rehabilitation Expert University of Pécs Doctoral School of Health Sciences Faculty <a href="mailto:silviasabokora@gmail.com">silviasabokora@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0009-0000-1787-3711">orcid.org/0009-0000-1787-3711</a>
Dr. Dunai Pál egyetemi docens Nemzeti Köszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék  <a href="mailto:dunai.pal@uni-nke.hu">dunai.pal@uni-nke.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0001-8583-0799">orcid.org/0000-0001-8583-0799</a>	Pál Dunai, PhD Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training  <a href="mailto:dunai.pal@uni-nke.hu">dunai.pal@uni-nke.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0001-8583-0799">orcid.org/0000-0001-8583-0799</a>

---



Zsolt István Faltin, Károly Tamás Beneda

## Improvement of a Centrifugal Compressor Test Bench to Incorporate Variable Impeller-Inducer Bleed Air System as an Active Surge Control

*Centrifugal compressors are widely used throughout various industrial applications, including many safety-critical fields like aircraft engines. Thus, the enhancement of stable operational range is essential, which often requires active surge control methods. This includes state-of-the-art digital electronic measurement system to detect the onset of surge, which is a phenomenon that arises under extreme operational conditions and can lead to either negatively influenced behaviour or even the destruction of the compressor hardware in the case of uncontrolled conditions. Therefore, a strong emphasis must be given to observe impending surge and, if possible, to include an active system that can prevent undesired operational situations. Amongst many passive and active possibilities of surge control, Blade Load Distribution Control (BLDC) can be considered as a method, which creates acceptable influence on instabilities with a minor efficiency loss, consequently, could be applied as an active surge suppression system. The aim of this paper is to investigate feasible solutions on an existing centrifugal compressor test bench, which would enable to examine the theoretical solutions for blade load distribution control.*

**Keywords:** *centrifugal compressor, compression system instabilities, surge suppression methods, bleed air, blade load distribution control*

### 1. Introduction

In the aerospace industry, centrifugal compressors are used especially in the propulsion systems like as high bypass turbofan (e.g. Lycoming ALF502), turboprop (e.g. Pratt & Whitney Canada PW100) and turboshaft (e.g. Klimov GTD-350) engines. Turbofan and turboprop engines are intended for airliners and medium sized, general-purpose aircrafts to generate thrust. Turboshaft engines combined [1] with reduction gear system are the main power generation system of helicopters (e.g. Mil Mi-2). The surge phenomenon could occur in both applications when operational conditions change suddenly, for example during take-offs and landings or in unpredictable situations, for example at bird strike event, which could cause fatal failure of the engine in any phase of the flight, for example in PW100 series engine family. The advanced version of this engine, the PW150 applies a 3-stage axial compressor replacing the first, low-pressure centrifugal compressor in the PW100, or the so called Jet-Net equipment can be used to protect the engine inlet section against entering foreign

objects like at MTR390 or at Jet Cat P100 micro gas turbines. When input parameters change immediately, compressor stall could occur, and this could cause pressure oscillations, which could propagate towards the combustion chamber. If the amount of air is insufficient in the combustion chamber and only a portion of the fuel participates in the combustion process, these conditions, when not controlled, can lead to complete failure of the engine. That is why the theoretical and experimental examination of the surge phenomenon [2] and investigation of effective solution methods is of emphasised importance today.

### 1.1. The surge phenomenon

The research of the dynamic behaviour of instabilities in compression systems has had major role in many fields of industrial applications for decades [3], [4], [5], especially in aerospace and energy sector. These researches [12] focused on multitude of aspects of the phenomenon from its emergence and mechanism [13], [14], [15] through its features in a specified environment [16] to its elimination in an existing system like a compressor stage of a turbocharger, but only a few paid attention for the detection and active controlling of the compressor surge [17], [18]. These researches help to understand the phenomenon and grant support for further developments.

In a numerical investigation [6], the authors have created the exact 3D model of an existing centrifugal compressor (NASA CC3). They conducted an unsteady three-dimensional numerical simulation based on large eddy simulation (LES). One of their conclusions was that a surge event could be divided into five stages. The first is the *pre-surge interval*, which started when the backpressure of the flow has started to increase and flow separations were observed on the diffuser vane walls and corner separated flow developed near the hub corner just downstream of the leading edge of the vane. After that, the phase of *surge inception* was defined. It was caused by the large increase in the static pressure in the diffuser channels in where some fluctuations were observed in the rotating stall cells. In the *flow reversal interval*, recirculation flow was formed in the diffuser passages. This backflow was generated by the adverse pressure at the diffuser outlet. The next in the *recovery flow inception phase*, where the flow reattached to the normal direction, because the backpressure which caused this backflow started to decrease. The *reattachment phase* is that shows the continuation of the flow recovery. In this segment of surge, pressure started to increase close to the stable operating value before the compressor will enter to the next surge cycle. The better understanding of a surge event helps to determine the appropriate detection and control method of the phenomenon.

Another study [7] has investigated the surge from other aspect. A real turbocharger centrifugal compressor equipped with a vaned diffuser was examined at five different rotating speeds. The experimental results have shown that the transitional process from stable to unstable condition is different at these dissimilar circumstances. At low rotating speed, the transition process consists of two segments, like *the stable operation and the deep surge stages*, while at high rotating speed, the transition process includes one more segment between the stable operation and the deep surge cycle. It is the *mild surge*, which has occurred only at the highest rotating speed (90,000 1/min) in the experiment. The difference between the mild surge and the deep surge cycle is that at mild surge there is no backflow, while in a deep surge

cycle the pressure oscillations and the decrease of the flow rate often occur with backflow. Therefore, this examination has given almost the same conclusions as the study mentioned previously, hereafter the results of the test run have shown that the conventional view of the behaviour of the surge event is not correct exactly. Earlier studies have declared that the surge is an axisymmetric phenomenon, but the dynamic signals of this experiment have shown that the pressure oscillation period is different along the circumferential direction at the vaned diffuser inlet, and the volute induces this non-axisymmetric behaviour. Thus, if a compressor is used in a well predictable environment, an adaptive design method is applicable for the volute to solve the problem, but it is not specific in aerospace applications.

Based on the change of static pressure and the change of the characteristic of pressure oscillations and frequency, the authors have divided a deep surge cycle into three periods. It is almost the same as the aforementioned. At the start of a deep surge event, static pressure starts to increase with high frequency and low amplitude oscillations at the diffuser outlet. The authors named it as the *recovery period*. When static pressure no longer increases and starts to fluctuate with noticeable amplitude, the system is in the *oscillation period*. After that, pressure suddenly falls to a low level at the diffuser outlet, while pressure remains at a relatively constant level at the diffuser inlet and the impeller inlet, but after a sudden spike-like pressure shock, it drops to a low level too. This is the *breakdown period*. While pressure signals have shown large alterations in frequencies and altitudes, temperature signals have changed gently during a surge cycle except when the breakdown period began. At this point, a quick increase of the temperature signal was monitored, so maybe it could be used to predict or indicate the beginning of a surge event.

## 2. Currently used surge control systems

Because of the aforementioned disadvantages of surge, several different solutions [8], [9], [10] have emerged in the past decades to prevent the undesirable consequences. There are two main groups of these methods. If the system does not contain active element to detect and handle the phenomenon, we are talking about a *passive method* and consequently an *active system* has sensors and actuating devices for the purpose of detecting and controlling a surge event [11].

### 2.1. Passive surge control methods

One of the most widespread methods to avoid the onset of surge in an operational compressor is to maintain it far from its unstable operational range. This conventional method is used especially in the aerospace industry, because this does not require additional equipment, which means in general additional weight to the whole system, and a compressor working in a jet turbine engine faces very wide range of unfavourable operational conditions, especially when the flight profile and altitude changes very quickly. The disadvantage of this safety margin is that the compressor cannot work in its whole available performance.

Other passive surge control methods are the inducer wall treatment [19] and the inducer shroud bleed. As we mentioned above, it was shown that bleeding of a small amount of the

main flow has some advantages at instable operating conditions. The bleed slots attached with an annular chamber or cavity in the compressor casing can dampen pressure oscillations close to the state of the onset of surge, and they can prevent or reduce the reversing flow, which is induced by the increased static pressure in the diffuser. This backpressure can rise immediately when the incoming working medium hasn't got enough energy to overcome this resistance, for example at reduced flow rate conditions caused by unforeseeable circumferential reasons, e.g. turbulences induced by high angle-of-attack in the intake duct, which are very frequent in aerospace applications. One of the disadvantages of this method is that it decreases the efficiency of the system [20].

In the experimental study, three different bleeding slot positions were examined, and the reinjection slot position was unchanged. The results of this numerical investigation have shown that the most effective bleeding slot position is at the main impeller blade leading edge. With the setting of this slot position, the surge limit of the compressor could be increased by 8%, while the usage of other slot positions away from the main blade leading edge shows lower efficiency increment on the compressor performance map.

## 2.2. Active surge control methods

One of the most widely used active surge control equipment is the Variable Inlet Guide Vanes (VIGV). It means there are adjustable blades in front of the centrifugal compressor inlet, which can optimise the flow incidence angle to the rotating impeller by changing the flow direction. In some cases, it means that the tangential component of the absolute flow velocity increases, which reduces the work input of the impeller. Furthermore, the usage of the VIGV decreases the output pressure, which results in lower pressure ratio. It means that the whole compressor performance map moves to lower deliveries. Besides, the VIGV adds additional weight to the whole system, which is not useful in aerospace applications (e.g. GENx engine family) and it takes the system more complex and unable to handle any instabilities of the compression system. Because of these disadvantages, the VIGV systems reach their limits of capabilities and are not the appropriate option for further developments.

The Variable Geometry Diffuser (VGD) works based on the same theory as the VIGV. Depending on the actual mass flow rate, the velocity triangles always change at the diffuser inlet also. Especially at high rotating speeds, the instable behaviour starts at the diffuser inlet, and if the incidence angle is not optimal at the leading edge of the diffuser blades, blade stall occurs, which can cause low amplitude high frequency pressure disturbances. This can lead to compressor surge, so with the optimisation of the angle of attack of the inlet flow to the diffuser blades the onset of surge could be prevented. However, as the IGV, the VGD became ineffective if the backpressure at the diffuser outlet rises above a limit at which the working medium does not have enough energy to overcome on it. In this case, the induced backflow and the pressure disturbances could damage the parts of the compressor. Because of these negative features of the VGD system, this technology is used by only a few aerospace applications like in Auxiliary Power Units (APUs) today.

Further possible way to optimise the flow conditions in the compressor system is the rotating speed control. In relation with the mass flow rate needed in a specified application of the compressor, the alteration of the drive torque is the easiest method to keep the compressor in the stabile operational range, for example in natural gas industry. However, where the constant speed of the rotor is one of the criteria of the operation, for example in the aforementioned APUs, where the generator has to be driven at constant speed by the turbine, the speed control method is not applicable.

Amongst classical surge control solutions, some novel methods have emerged in this area in the past few years. Numerical and experimental investigations of the surge phenomenon have shown that the blade tip vortexes have major role in the transition process from stable operation to the onset of surge. A novel method aims to control these vortexes by using Active Magnetic Bearings (AMBs) [21], which enables the axial modulation of the impeller tip clearances. The experimental results have proved that it can increase the compressor performance, but in aeronautical and aerospace applications, it is difficult to implement this method.

### 3. Description of the test bench

The centrifugal compressor, which is investigated in this study, is the part of a Holset turbocharger, which originates from a locomotive Diesel engine. To operate it, we use another centrifugal compressor, manufactured by Ganz, which is working as a part of an air cycle machine cooler system for educational purposes. The air cycle machine cooling system contains also a heat exchanger and a turbine on which the working fluid drops its heat energy for the goal of cooling. The operation of these systems needs an oil system also, which was modified for the operation of the Holset turbocharger. The compressor is driven by an induction motor, which has a variable-frequency drive that allows changing its rotating speed from 0 to 30,000 RPM. At the maximum rotational speed, the Ganz compressor can provide enough airflow to operate the Holset turbocharger at the design rotational speed, which is about 50,000 RPM, but it is obvious, that the position of the throttle valve at the turbocharger compressor outlet will modify its rotational speed. To compensate this effect, and to synchronise the optimal operation of these two machines, the test bench is equipped with a Tee-tube with a valve between the Ganz compressor outlet and the Holset turbine inlet. We chose this drive system for the Holset turbocharger, because we want to examine the drop of the rotational speed and the effect of the surge avoidance system close to the real operational circumstances. This Tee tube is also equipped with a flowmeter to determine the amount of the bleed air. Another two flowmeters are used at the inlets of the Ganz and of the Holset compressors. Total pressure probes are used at the inlet and at the outlet of every main part (compressors, and turbine), and at these locations total temperature sensors are used to determine the whole performance characteristic of the entire system. The first step of the development process is the calibration of the data measurement system. The flowmeters have different geometry, so the contraction coefficient must be determined. We use a Prandtl-tube to measure the speed of the airstream that goes through the cross-sectional area of the inlet or outlet.

The rotating speed of the Holset turbocharger is measured by a magnetic sensor, and the rotating speed of the Ganz compressor is determined by calculations from the input drive frequency. We use a ferromagnetic hex nut placed at the end of the shaft of the Holset compressor as a signal generator, which, therefore, can provide 6 signals per revolution. This will be taken into account as a scale factor when evaluating the measurement of the rotational periodicity of the compressor. The speed sensor probe, which contains a permanent magnet and a coil around it, was fixed at a distance of approximately 1 mm from the nut. The magnetic field of the coil is periodically deformed by the alteration of the edge and flat side of the nut rotating in its immediate vicinity, and this periodically alternating magnetic field is inducing electric voltage in the coil by which electric current is generated. This current has nearly but not exactly sinusoidal periodicity in time, because of the geometry of the nut. The amplitude of the generated current ranges from a few millivolts to a few 100 mV with increasing RPM. During operation, the wire between the coil and the signal processor collects interference signals from the environment, which clearly justify the usage of some kind of signal conditioning method before the processing of the signal. The low signal level made it essential to use an operational amplifier, but this solution by itself is not yet suitable for filtering interference signals, so that to avoid false edge detection generated by random noise in the digital counter, it was necessary to install a Schmitt trigger circuit with a sufficiently large hysteresis. Due to its hysteresis, smaller fluctuations are actually cut off; thereby the transmission of the main, undisturbed signal could be realised. As a result of the amplifier and the Schmitt trigger, the signal, which is sent to the data collector, is a square signal with an amplitude range between 0 and the supply voltage and its frequency is equal to the frequency of the passing edges of the nut, and this signal is assumed to be symmetrical due to the geometry of the nut. The data collection was performed by a National Instruments USB 6218 multifunction data processing unit, which has an input port for digital pulse train signals. It has a built-in timer for creating the function, which is necessary to measure the elapsed time between two edges. In this function, a reciprocal calculation and scaling is required.

Temperature sensor was placed at the outlet section of the examined centrifugal compressor, this was called T2. Other temperature sensors were placed at the inlet and the outlet section of the turbine, these were called T3 and T4. During the measurement of the compressor characteristic, the throttle valve of the centrifugal compressor was moved from the opened to the fully closed position. In Figure 1 below, the effects of throttle valve movements are presented from open to fully closed position and back 3 times. As it can be seen on the diagram when the throttle valve is continuously approaching towards the closed position, temperature T2 exhibits a sudden rise, and this could be observed until the opening of the throttle valve begins. It could be also found that the power need of the compressor is also decreasing during the closing of the throttle valve, because it affects the mass flow rate of the compressor, which is in linear connection with its power consumption. This reduces the power output of the turbine and because it has constant airflow from the other compressor, the only variable which can adjust to the new equilibrium is the temperature drop at the turbine section. The ambient temperature remains constant during the measurement.

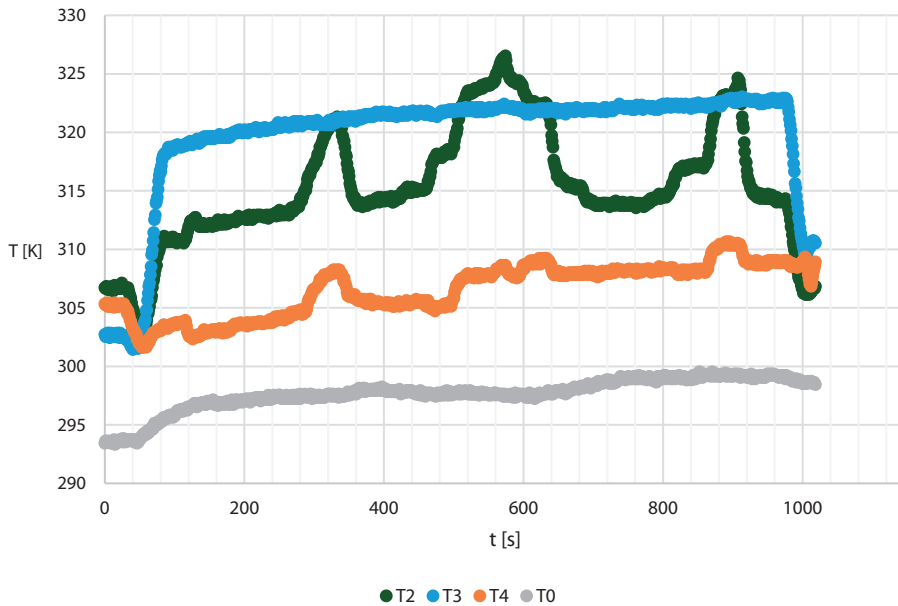


Figure 1.

*Temperature signals of the surge phenomenon [the authors]*

The Ganz compressor is the same, which is mentioned in a previous study, where the author describes a development process for the goal to enhance the stable operating envelope of the compressor. The casing was equipped with a manually controlled bleeding slot system named as the Variable Inducer Shroud Bleed (VISB) [22]. The bleed slots are positioned at the impeller region of the casing, and each bleed slot has its own cover plate attached to a central movable ring, which can move in axial direction and could be fixed with a winged nut at a desired position. This allowed the researcher to examine the effect of the bleeding slots at different rotating speeds and at different cover plate positions. The measured and processed data of the test runs verified that the usage of the bleeding slots can handle blade stall and the onset of surge close to the instable operational range of the compressor.

#### 4. Investigation of possible configurations

Based on the previous studies mentioned above, it can be declared that the bleeding slots on the test bench could be used for the detection of the surge. Because of the construction features of the currently used Variable Inducer Shroud Bleed (VISB) system, it is not capable to perform fast response to the high frequency pressure oscillations. One possible way to improve this system if fast response pressure transducers combined with pressure valves

are used instead of the manually adjusted cover plates. This method allows at first the determination of the exact characteristic and performance map of the examined centrifugal compressor and on the other hand, based on the measured data, the transition process of the unstable behaviour could be observed. The pressure sensors could be placed on tubes, which have the same diameter as the bleeding slots. Length of the tubes depends on the requested damping effect achieved by the inner volume of the tubes, which could be different in the circumferential direction. These pressure sensors combined with fast response micromechanical valves work independently from the others around the compressor casing. Other possible solution would be a construction of a chamber around the existing bleeding slots and the fast response pressure transducer would be placed on this chamber. But, in these cases, a significant amount of the working fluid is let out to the environment, and if we consider the formula for the calculation of the effective power of a turbomachine, it could be seen that the usage of this solution result in loss of power, which is critical at a certain application, for example in aviation.

#### 4.1. Examination of recirculating bleed slots at the compressor impeller

Based on the gained experiences of the variable inducer shroud bleed method, another surge suppression method was examined in the past few years. It uses the same principle to handle the compressor surge phenomenon, which aims to decrease the load pressure at the diffuser, but in this case, the bleed air is redirected from the compressor volute section into the impeller blade passages through holes and cavities placed in the hub of the impeller. The arrangement of these recirculating devices can be seen in a cross-sectional view in Figure 2 below.

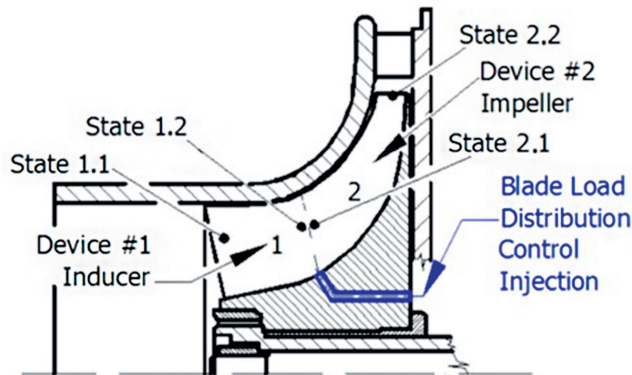


Figure 2.  
Cross-sectional view of the bleed air holes in the impeller [23]

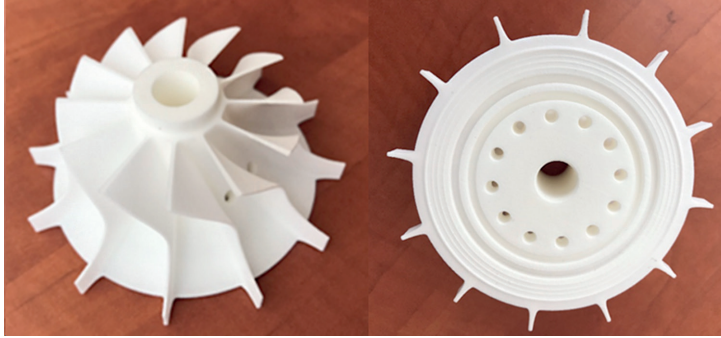


Figure 3.

*Front and aft views of 3D printed impeller having the labyrinth sealing [the authors]*

To control the backflow from the volute a valve is placed at the orifice of the bleed air hole in the aft body section of the volute. This „L” shaped hole ends in a flat roller shaped cavity, which has a full opening area right to the backplate of the rotating impeller. To prevent the high-pressure air from escaping this cavity towards the diffuser, on the aft face of the compressor impeller, a conical 3-stage labyrinth sealing was applied in radial direction, as indicated in Figure 3. The residual pollution particles from air in the mortises of the labyrinth sealing shows that this method could stop the leakage of the airflow from this common cavity and the main portion of this high-pressure bleed air could be forwarded right into the middle section of the impeller blade passages. The components can be seen in a partially assembled condition in Figure 4.

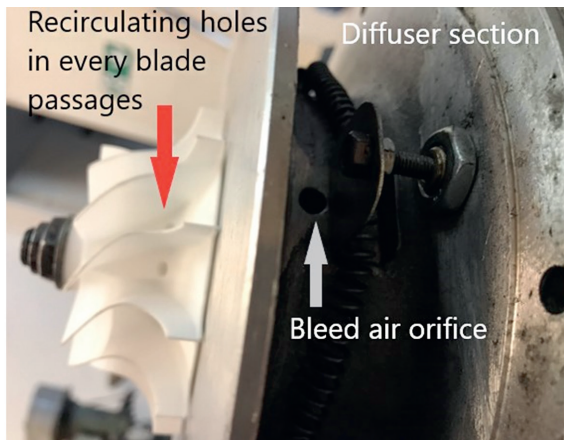


Figure 4.

*Arrangement of the recirculating system in the compressor structure [the authors]*

The choke and the variable rotating speed also allow specifying the compressor map, see Figure 5. The rotational speed of the induction motor is shown at right side of the graph in Hertz, and the gear ratio is 3.87 between the Ganz compressor and the electric motor. When 55 Hz was set on the variable frequency drive, the rotor of the turbocharger rotates 38,000 revolute per minute.

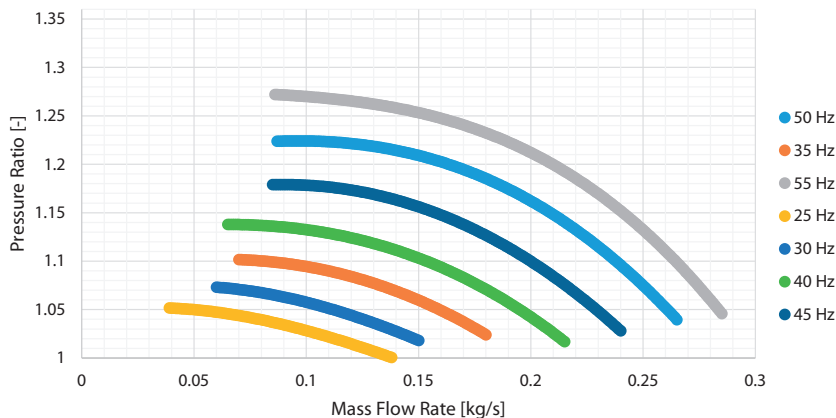


Figure 5.  
Measured compressor map [the authors]

Our measurements have shown, that at a given rotational speed and throttle valve position the backflow from the compressor outlet could stabilise the operation of the compressor at the onset of surge condition. On the next diagram in Figure 6, pressure rise against the elapsed time is shown and the orange line shows the on or off position of the bleed air valve. As it can be seen, that by closing the throttle valve at the end section of the diffuser, the back pressure continuously rises and at a given point or at a given pressure ratio the stable operation of the centrifugal compressor suddenly turns into an unstable behaviour in which the pressure ratio falls into a lower level, and the stable mass flow rate will completely collapse and it will oscillate streamwise and in reverse direction at a dangerously high amplitude. However, if the bleed air valve was opened, which is marked by the step-up position of the orange line, it could be seen on the diagram that the operation of the compressor could be stabilised at the original pressure ratio level which was experienced at the starting point.

The bleed air valve has a simple On/Off switch and this is shown by a voltage signal in Figure 6 below, and the output voltage signal of the pressure sensor is shown in the diagram, which is proportional with the outlet pressure of the centrifugal compressor, called  $p_2$ . It was measured by two total pressure probes downstream of the compressor volute section in front of the throttle valve placed in the outlet duct near the total temperature sensor. The pressure sensor has 5 V supply voltage with direct current, and the sensor sends output voltage signal in the range of 0.5 V, which is proportional to the applied pressure. This can be seen in Figure 6 below. Originally, the bleed air valve provides 5 V if it was in operation and the electrical contacts were connected, but nothing if the bleed air valve was closed. To place these lines and measurement data in one figure, the voltage signal of the bleed air valve has an offset of  $U = U_{sign} \cdot 0.6 + 1.2$  [V].

## Centrifugal compressor at 38,000 RPM

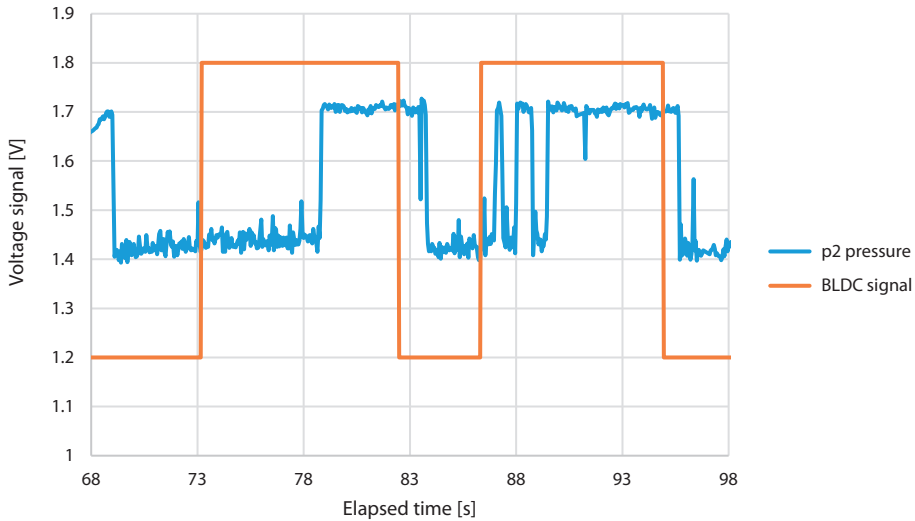


Figure 6.

Pressure ratio of the compressor against elapsed time at different recirculating bleed air valve positions [the authors]

## 5. Conclusion

This method was also examined by computational fluid dynamic simulations, and we have obtained the same results. Numerical calculations have also proven that this method can stabilise the operation of the centrifugal compressor at unstable working conditions, and because of the type of this recirculation method, namely the bleed air is redirected into the compression system instead of letting it out to the environment causes minimal power loss, and as it is proven by both experiments and numerical calculations, the usage of the bleed air system during normal operational circumstances yields some additional pressure rise compared to the normal operational condition at the same pressure ratio without having the bleed air system turned on.

## References

- [1] S. Yan et al., 'Surge Margin Monitoring of One Turboshift Engine with Inlet Distortion'. *Journal of Physics Conference Series*, Vol. 2472, pp. 1742–6588, 2022. Online: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2472/1/012053>
- [2] B. Zhao et al., 'Experimental Investigations on Effects of the Self-Circulation Casing Treatment on Acoustic and Surge Characteristics in a Centrifugal Compressor'. *Aerospace Science and Technology*, Vol. 131, Part A. 2022. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ast.2022.108002>

- [3] H. Zhang et al., 'Numerical Study of the Coherent Characteristics of the Blade Tip of a Micro Centrifugal Compressor and Its Application in a New Unsteady Casing-Treatment Experiment'. *Physics of Fluids*, Vol. 36, no. 1, 017139, 2024. Online: <https://doi.org/10.1063/5.0190152>
- [4] T. Haeckel et al., 'Determination of a Numerical Surge Limit by Means of an Enhanced Greitzer Compressor Model'. *International Journal of Turbomachinery Propulsion and Power*, Vol. 8, no. 4, p. 2023. Online: <https://doi.org/10.3390/ijtp8040048>
- [5] Q. Peng et al., 'Centrifugal Compressor Performance Prediction and Dynamic Simulation of Natural Gas Hydrogen Blended'. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 52, Part B, pp. 872–893, 2024. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.10.023>
- [6] I. Shahin et al., 'Large Eddy Simulation of Surge Inception and Active Surge Control in a High Speed Centrifugal Compressor with a Vaned Diffuser'. *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 40, no. 23–24, pp. 10404–10418, 2016. Online: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.07.030>
- [7] X. Zheng et al., 'Experimental Investigation of Surge and Stall in a Turbocharger Centrifugal Compressor with a Vaned Diffuser'. *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 82, pp. 493–506, 2017. Online: <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.11.036>
- [8] T. Alsuwian et al., 'A Review of Anti-Surge Control Systems of Compressors and Advanced Fault-Tolerant Control Techniques for Integration Perspective'. *Heliyon*, Vol. 9, e19557, 2023. Online: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19557>
- [9] A. Renz et al., 'Improving a Centrifugal Compressor's Performance at Low Mass Flow Rates by Adding an Acoustic Resonator'. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 145, no. 12, 2023. Online: <https://doi.org/10.1115/1.4063583>
- [10] C. Jia et al., 'Low-Frequency Fluctuation Propagation of Rotating Stall in the Centrifugal Compressor and Pipe System'. *Physics of Fluids*, Vol. 35, 124114, 2023. Online: <https://doi.org/10.1063/5.0174314>
- [11] C. B. Abed et al., 'Novel experimental Control Method to Suppress Instability in a Centrifugal Compressor with Two Counter- and Co-rotating Rotors'. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A – Journal of Power and Energy*, Vol. 237, no. 8, pp. 1715–1725, 2023. Online: <https://doi.org/10.1177/09576509231181547>
- [12] D. Altafi et al., 'Entropy Generation Rate Analysis of Turbocharger Radial Flow Compressor in Range from Surge to Choke'. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A – Journal of Power and Energy*, Vol. 238, no. 3, pp. 401–426, 2023. Online: <https://doi.org/10.1177/09576509231216187>
- [13] Y. Jeong et al., 'Supercritical CO<sub>2</sub> Compressor Operation near Stall and Surge Conditions'. *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 50, 103499, 2023. Online: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103499>
- [14] J. Li et al., 'Surge Process of a High-Speed Axial-Centrifugal Compressor'. *Processes*, Vol. 11, no. 10, 2869, 2023. Online: <https://doi.org/10.3390/pr11102869>
- [15] M. Zhang et al., 'Numerical Model of Predicting Surge Boundaries in High-Speed Centrifugal Compressors'. *Aerospace Science and Technology*, Vol. 141, 108518, 2023. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ast.2023.108518>
- [16] Y. Hayashi, T. Cao, 'An Investigation of Non-Linear Surge Characteristic in a High-Speed Centrifugal Compressor'. *Journal of Turbomachinery*, Vol. 145, no. 5, 2023. Online: <https://doi.org/10.1115/1.4056089>

- [17] P. Silvestri et al., 'Compressor Surge Precursors for a Turbocharger Coupled to a Pressure Vessel'. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 144, no. 11, 111014, 2022. Online: <https://doi.org/10.1115/1.4055479>
- [18] H. Chen et al., 'Real-Time Instability Detection of Centrifugal Compressors Based on Motor Speed Measurements'. *Journal of Thermal Science*, Vol. 32, pp. 310–329, 2023. Online: <https://doi.org/10.1007/s11630-022-1685-7>
- [19] K. Beneda, *Development of Active Surge Control Devices for Centrifugal Compressors*. PhD Thesis, 2013.
- [20] H. Tamaki, 'Effect of Recirculation Device with Counter Swirl Vane on Performance of High Pressure Ratio Centrifugal Compressor'. *Journal of Turbomachinery*, Vol. 134, no. 5, 051036, 2012. Online: <https://doi.org/10.1115/1.4004820>
- [21] S. Y. Yoon et al., 'Model Validation for an Active Magnetic Bearing Based Compressor Surge Control Test Rig'. *Journal of Vibration and Acoustics*, Vol. 132, no. 6, 061005, 2010. Online: <https://doi.org/10.1115/1.4001845>
- [22] K. Beneda, Preliminary Results of Active Centrifugal Compressor Surge Control Using Variable Inducer Shroud Bleed'. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, Vol. 39, no. 2, pp. 49–54, 2011. Online: <https://doi.org/10.3311/pp.tr.2011-2.01>
- [23] Zs. Faltin, K. Beneda, 'Stress Assessment of Centrifugal Compressor with Surge Suppression Holes in the Impeller Hub'. in *2019 New Trends in Aviation Development (NTAD)*, pp. 40–44, 2019. Online: <https://doi.org/10.1109/NTAD.2019.8875526>

## **Centrifugálkompresszoros tesztberendezés fejlesztése a változtatható, járókerék lapátközi levegőbefűvés módszerét alkalmazó aktív pompásvédelmi rendszer vizsgálatára**

A centrifugális kompresszorokat széles körben használják különféle ipari alkalmazásokban, amelyek magukban foglalják az üzembiztonság szempontjából kritikus berendezéseket, mint például a repülőgépjárműveket. Emiatt elengedhetetlen a kompresszorok stabil működési tartományának, illetve annak kiterjesztési lehetőségeinek vizsgálata, amelyek működtetése gyakran aktív szabályozási módszereket igényel. Ez magában foglalja a korszerű digitális elektronikus mérőrendszereket, vagy akár a kompresszor esetleges túlterhelésének észlelésére alkalmas berendezéseket. Ez a jelenség általában extrém üzemi körülmények között jelentkezik, ami szerencsésebben csak negatívan befolyásolhatja a kompresszor viselkedését, de akár a kompresszor mechanikai károsodásához, tönkremeneteléhez is vezethet ellenőrizetlen körülmények között. Ezért nagy hangsúlyt kell fektetni az instabilitások megfigyelésére, és lehetőség szerint olyan aktív rendszert kell alkalmazni, amely észleli és valamilyen beavatkozó szerv segítségével megakadályozza a nem kívánt üzemi állapotokat. A sok túlterhelés elleni passzív védelmi és aktív szabályozási lehetőség közül a lapáatterhelés-eloszlás szabályozása változtatható levegőelvezetéssel olyan módszer, amely megfelelő mértékű hatást fejt ki az instabilitásokra, de használata közben nem jelentkezik számottevő hatásfokcsökkenés, így aktív pompásvédelmi rendszerként is alkalmazható. Jelen cikk célja olyan könnyen megvalósítható megoldás vizsgálata egy meglévő centrifugális kompresszor-próbapadon, amely lehetővé teszi a változtatható levegőelvezetés módszerére vonatkozó elméleti megoldások gyakorlati vizsgálatát.

**Kulcsszavak:** centrifugálkompresszor, kompresszorok instabilitása, pompásvédelmi módszerek, levegőelvezetés, lapátherelés-eloszlás szabályozása

---

Faltin Zsolt István, MSc tudományos segédmunkatárs Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Repüléstudományi és Hajózási Tanszék  <a href="mailto:faltin.zsolt@kjk.bme.hu">faltin.zsolt@kjk.bme.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-8361-1397">orcid.org/0000-0002-8361-1397</a>	Zsolt István Faltin, MSc Assistant Research Fellow Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture <a href="mailto:faltin.zsolt@kjk.bme.hu">faltin.zsolt@kjk.bme.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-8361-1397">orcid.org/0000-0002-8361-1397</a>
Dr. Beneda Károly Tamás egyetemi adjunktus Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Repüléstudományi és Hajózási Tanszék  <a href="mailto:beneda.karoly@kjk.bme.hu">beneda.karoly@kjk.bme.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0003-1900-7934">orcid.org/0000-0003-1900-7934</a>	Károly Tamás Beneda, PhD Assistant Professor Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture <a href="mailto:beneda.karoly@kjk.bme.hu">beneda.karoly@kjk.bme.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0003-1900-7934">orcid.org/0000-0003-1900-7934</a>

---

Lucz Zsolt

## AS-350B könnyű-többcélú helikopter a Magyar Légierőben

*A helikopterek diadalmenetének kezdete a 20. század elejére tehető. Bár a technológia – a szoros és átvitt értelmében is – akkoriban még csupán a szárnyait bontogatta, a sokoldalúság és a számtalan felhasználási, alkalmazási lehetőség előrevetítette az új repülőeszköz majdani sikerét. A kor előrehaladtával sorra jelentek meg a korszerűbb típusok, amelyek egyre hatékonyabbak, erősebbek, gyorsabbak, és ami a fő, egyre biztonságosabbak lettek.*

**Kulcsszavak:** helikopter, légierő, sokoldalúság, AS-350B, műszaki, LYCOMING, ARRIEL 1B

### 1. A kezdetektől napjainkig

Az AS-350 típusú könnyű többcélú helikopter napjainkig a világ számos területén bizonyított. Tervezési sokoldalúsága, megbízhatósága, valamint gazdaságossága tette ezt a helikoptert a világ egyik legelterjedtebb forgószárnyas repülőeszközüvé. Fejlesztői a tervezés kezdeti fázisától folyamatosan törekedtek arra, hogy képesek legyenek megfelelni a típussal szemben támasztott mindennemű elvárásnak, amivel biztosítani tudják a helikopter gyártásának jövőjét.

A 20. század második felében az Aérospatiale cég meghirdetett egy fejlesztési programot, amellyel egy korábbi típusukat, az Aérospatiale Alouette II-t kívánták leváltani. Bár a hatvanas és hetvenes években a szintén általuk kifejlesztett Gazelle helikopter számos megrendelést kapott katonai körökben, polgári célú felhasználása és értékesítése nem érte el a kívánt mennyiséget. Így új irányban indult el a vállalat, ahol a cél a költséghatékonyság és a gazdaságosság további fokozása volt. Számos új megközelítést alkalmaztak a tervezés és gyártás során, mint például a hengerelt lemezszerkezetet vagy a Starflex forgószárnyagy kialakítást. További elvárásként meghatározták, hogy az új típus fejlesztési irányának multifunkcionálisnak kell lennie, megfelelően ezáltal akár katonai, akár civil szférában megszabott követelményrendszereknek [7].

Az új típus első próbarepüléseire 1974. június 27-én és 1975. február 14-én került sor. Előbbi esetben egy Lycoming LTS101 turboshaft hajtómű volt az erőforrás, ami 650–850 shp<sup>1</sup> (484–683 kW), míg a másik prototípus esetén egy Turbomeca ARRIEL 1A, ami 650–1000 shp (484–745 kW) teljesítmény leadására volt képes. Utóbbi hajtóműcsalád számos változata biztosítja az elkövetkező évek során a helikopterek fő meghajtását. A helikopter számos

<sup>1</sup> Shaft Horsepower: tengelyre leadott teljesítmény.

változattal rendelkezik, az eltérést a hajtóművek száma és típusa, a felszereltség, valamint a feladat-specifikum okozza. Ezen variánsok többek között a következők:

- AS-350C: Prototípus, amelyet AStar néven fejlesztettek még az észak-amerikai piacra, és amely típus még Lycoming LTS101-600A-2 hajtóművel volt felszerelve. Ezt a változatot azonban gyorsan felváltotta az AS-350D, erősebb, de még szintén Lycoming hajtómű által hajtva;
- AS-350B: Egyhajtóműves könnyű helikopter, amelyet ARRIEL 1B hajtóművel láttak el. Jelenleg a Magyar Honvédség légierejében is ez a változat teljesít szolgálatot;
- AS-350B3: Az AS-350B továbbfejlesztett típusa, amelyet egy ARRIEL 2B nagy teljesítményű hajtómű működtet, amely 848 shp maximális teljesítmény leadására képes. A variáns már 2250 kg maximális felszálló tömeggel és 287 km/h a  $V_{NE}^2$  sebességgel rendelkezik;
- AS-350BB: A Brit Királyi Légierő számára optimalizált változat, amelyet ARRIEL 1D1 teljesítményű hajtóművel láttak el [7].

A helikopter megnevezésében a számok is különbözőséget jelölnek:

- AS – Aérospatiale (gyártó)
  - 3 – polgári (5 – katonai);
  - 5 – típusmegjelölés;
  - 0 – hajtóművek száma (0 – egyhajtóműves, 5 – kéthajtóműves).



1. ábra  
AS-350C (AStar) prototípus repülés közben [2]

Mivel a helikopter több komponensből tevődik össze, így természetesen egy-egy elem gyártója is eltérő lehet. A helikopter sárkányszerkezetét az Airbus Helicopters (korábban Eurocopter/ Aérospatiale) készíti, amihez a hajtóművet a Safran Helicopter Engines (korábban Turbomeca)

<sup>2</sup> Never Exceed Speed: az a sebesség, amelyet a légiüzemeltetési utasítás (Flight Manual) szerint tiltott átlépni, az ugyanis a helikopter jelentős károsodásához vezethet.

gyártja, ezeken felül a kiegészítő berendezések (például akkumulátor, ELT<sup>3</sup>) is más-más cégektől származnak. Az évek során a gyártók nevei változhatnak, így előfordulhat, hogy bizonyos típusok megnevezései is ezzel párhuzamosan cserélődni, avagy megújulni fognak. Az 1. táblázatban az Airbus Helicopters által üzemeltetett néhány típus látható, azoknak régi, valamint új kereskedelmi forgalomban lévő nevével.

1. táblázat  
Az új Airbus „H” generációs helikoptereinek megújult nevei ([3] alapján a szerző szerkesztése)

Korábbi típus megnevezése	Új típus megnevezése	
Polgári/Katonai	Polgári	Katonai
EC120 B	H120	
AS350 B2	AS350 B2	
AS350 B3e	H125	
AS550 C3e		H125M
EC130T2	H130	
EC130 T3/P3	H135	
EC635 T2e/P2e		H135M
EC145e	EC145	
EC145 T2	H145	
EC645 T2		H145M
AS365 N3+	AS365 N3+	
AS565 Mbe		AS565 MBe
EC155 B1	H155	
X4	H160	
EC175	H175	
AS332 C1e	AS332 C1e	
AS332 L1e	AS332 L1e	
AS532 Ale		AS532 ALe
EC225e	H225	
EC725		H225M
NH90		NH90
Tigre (EC665)		Tiger

## 2. AS-350B a Magyar Honvédség Légierőjében

Simicskó István, volt honvédelmi miniszter, 2016. június 15-én adta át hivatalos keretek között a Magyar Honvédség részére azt a két AS-350B típusú könnyű kiképző helikoptert, amelyek korábban az Országos Mentőszolgálat kötelékében repültek (3., 4. ábra). A forgószárnyas képességnövelés a Magyar Honvédségben már akkoriban napirenden volt, így logikus lépésnek tűnt a típus rendszerbe állítása [4].

<sup>3</sup> Emergency Locator Transmitter: vészjeladó.



2. ábra

AS-350B még az Országos Mentőszolgálat színeiben [4]



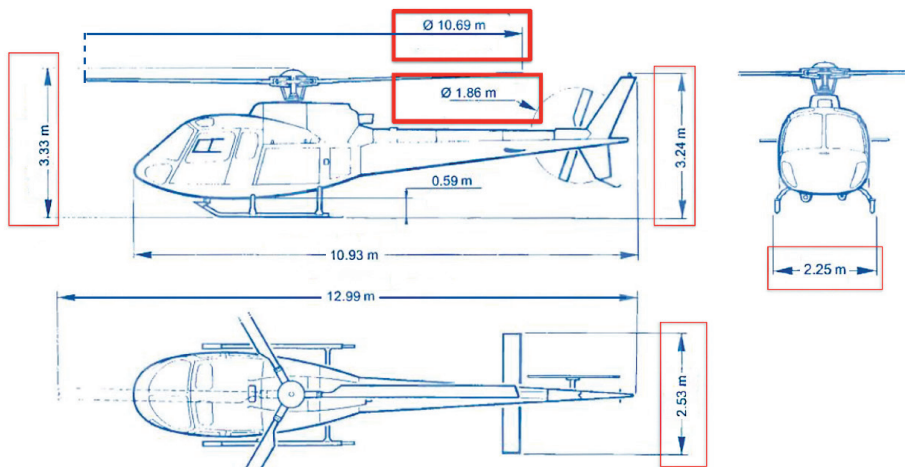
3. ábra

102-es oldalszámú AS-350B már a Magyar Légierő kötelékében [1]

## 2.1. A helikopter főbb dimenziói

Az AS-350B könnyű helikopter mivoltából adódóan közel sem rendelkezik akkora méretekkel, sem tömegben, sem pedig kiterjedésben, mint a korábbi megszokott MI-8/MI-17, így vezet-hetősége is jelentősen eltér tőle. Tömege mindössze 1260 kg (MTOM 1950 kg),<sup>4</sup> ami megfelel egy hétköznapi átlagos autó tömegének. Ehhez a tömeghez 12,99 m teljes hosszúság tartozik, ami a függőleges vezérsík végétől a forgósárnylapát 180°-os azimut helyzetben lévő pozíciójáig értendő. A helikopter csúszótalpas kialakítású rezonanciacsillapító sarkantyúkkal ellátva [5].

<sup>4</sup> Maximum Take Off Mass: a helikopter maximális felszálló tömege, amely magában foglalja a helikopter saját tömegét személyzettel, üzemanyaggal és hasznos teherrel.



4. ábra

Az AS-350B főbb dimenziói [5]

## 2.2. Sárkányszerkezet

A típus alapvetően főként alumíniumötvözet-borítással rendelkezik, azonban bizonyos részek, mint például a hajtóműborítás és a törzs alja kompozit anyagból készült, a nagyobb terhelések könnyebb elviselése és a helikopter tömegének csökkentése céljából. A hajtóműből kiáramló gázkeverék több száz Celsius-fokos, amit az alumíniumborítás nem bírna ki, és maradandó károsodást szenvedne igen rövid időn belül. A speciális feladatkört betöltő elemek anyagában azonban még a kompozitnál is erősebb anyagot, rozsdamentes acélt használnak. Ilyen a csúszótalp keresztmervítője és a hajtómű előtt és alatt elhelyezett tűzfal. Maga a pilótafülke első és felső része, valamint a teteje polikarbonát és poliamid keverékből, úgynevezett hőre lágyuló műanyagból készült.

A helikopter központi teherviselő része a törzs középső részén helyezkedik el, közvetlenül a csúszótalp két keresztmervítője fölött. A legnagyobb, a forgószárnyaktól és a futóműtől érkező terhelések ezen keresztül adódnak át, így ez egy igen merev része a helikopternek. A központi teherviselő rész mellett tárolórekeszek helyezkednek el 120–100 kg, mögötte egy enyhén kúpos kialakítású rész, 80 kg terhelhetőséggel. Ez után következik a faroktartó, amelynek szerkezete teljes egészében alumíniumötvözet. Fellelhető rajta mind vízszintes, mind függőleges stabilizátor is (utóbbi felső része aszimmetrikus, míg alsó része szimmetrikus profilozású) [5].

## 2.3. Hajtómű

A hajtómű tengelyteljesítményt biztosít a helikopter különböző dinamikus komponensei, részelemei számára. Az ARRIEL 1B szabadturbinás sugárhajtómű, azaz csak gázdinamikai

kapcsolat van a szabad turbina és a gázgenerátor-egység között, kinematikai nincs. A hajtómű 126 kg tömegű és moduláris kialakítású:

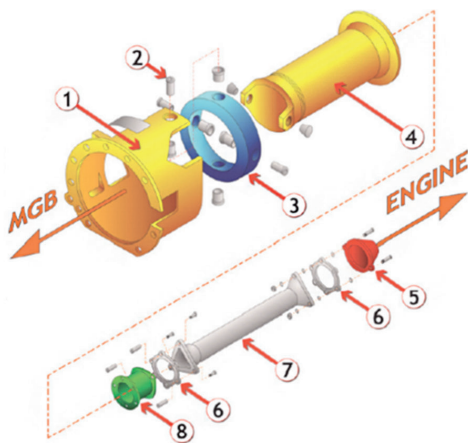
- Modul 1: meghajtótengely a segédberendezésekkel;
- Modul 2: axiálkompresszor;
- Modul 3: gázgenerátor-egység;
- Modul 4: szabad turbina;
- Modul 5: fordulatszám-csökkentő áttétel.

A kimenő teljesítmény (480–560 kW) 82%-a jut a forgószárnyrendszerre, 10%-a faroklégcsavarra, a maradék 8% pedig a főreduktor súrlódási vesztesége. Műszaki szempontból elemei jól hozzáférhetők, paraméterei a fülkében valós időben figyelhetők, üzemeltetése nem igényel magas költségeket, megbízhatósága magas (egyszerű felépítése miatt), tüzelőanyag-fogyasztása pedig kategóriájában alacsony<sup>5</sup> [8].

## 2.4. Forgószárny-meghajtási rendszer

A forgószárny-meghajtási rendszer felelős a hajtómű által generált teljesítmény továbbításáért egészen a forgószárnyig. Ez a rendszer magában foglalja:

- a hajtómű és a főreduktor közötti meghajtótengelyt és csapágyazását;
- a főreduktort;
- a forgószárnyrendszert.



5. ábra

Hajtómű és főreduktor közös meghajtótengelye és csapágyazása [5]

1. főreduktormeghajtás-ház; 2. univerzális csuklócsapok (függőleges és vízszintes); 3. szögterést biztosító kardánkeret (Gimbal-gyűrű); 4. hajtóműkihajtás-ház; 5. tengelykapcsoló perem; 6. flektortárcsa; 7. meghajtótengely; 8. hidraulikaszivattyút meghajtó szíjtárcsa

<sup>5</sup> Az AS-350B 540 l-es tüzelőanyag-tartállyal rendelkezik, átlagfogyasztása pedig ~180 l/h.

A helikopter főreduktora<sup>6</sup> 3 modulból áll, amely biztosítja a segédberendezések meghajtását és a megfelelő fordulatszám (RPM)<sup>7</sup> csökkentést, amelyet a kabinban is kijeleznek. A három modul sorrendben:

- Modul 1: bolygóműves áttétel (napkerék + bolygókerekek);
- Modul 2: ívelt fogazású kúpkerekáttétel;
- Modul 3: olajszivattyú-rendszer a hozzá tartozó olajteknővel.

A meghajtótengely felől érkező fordulatszám megközelítőleg 6000 fordulat/min ezt kell a főreduktor kettős, majd egyes moduljának mindösszesen ~390 RPM-re<sup>8</sup> redukálnia. Ezek kenésére, valamint a rendszer hűtésére megközelítőleg 5,7 l Mobil JET II olaj áll rendelkezésre.

A főreduktor után a következő egység – közvetlenül a főreduktorhoz csatlakozva – a meghajtási rendszerben a forgószárnytengely. Ezen egység felel a főreduktor által csökkentett fordulatszámon a forgatónyomatékok átadni a forgószárnyakra, valamint a forgószárnylapátokra. A rendszer 4 merev bekötéssel rendelkezik a sárkányszerkezethez, rugalmas felfüggesztését a főreduktor alján elhelyezett „kutyacsont” bekötés biztosítja. Önálló kenési rendszerrel nem rendelkezik, a megfelelő kenést egy teflonréteg szavatolja. A helikopter vízszintes és függőleges kormányzása a tengelyen elhelyezkedő álló, valamint forgótányér által valósul meg. Az álló tányér szabályzórudak segítségével pozitív és negatív irányban mozgatható, továbbá a hidraulikus kormányerő-csökkentőkön át a szabályzó egységhez (Mixing Unit)<sup>9</sup> kapcsolódik, ezáltal közvetlen kapcsolat jön létre a pilótával. A forgótányér pedig a lapátok beállításai szögének változtatásáért felel, szintén szabályzórudak segítségével.

Utolsó elemként a forgószárnyagy foglal helyet a meghajtási rendszerben. Ez egy Starflex elnevezésű, korábban (és azóta is) rendkívül innovatívnak számító technológia. Lényege, hogy vízszintes és függőleges csuklók nélkül biztosít rugalmasságot, így a lapátok csapkodó mozgása és azok előre-hátra sietése-késése megoldott. Előnye, hogy karbantartása egyszerű, ugyanis nem igényel külön kenést, valamint moduláris felépítésének köszönhetően az adott elemek külön-külön cserélhetők. Legfőbb előnye azonban a „Fail Safe” kialakítás, ami garantálja bizonyos részemlemek meghibásodása esetén is a további biztonságos üzemelést a leszállásig [5].

### 3. Összegzés

Az AS-350B a Magyar Honvédség kötelékének igen fontos láncszeme. A fiatal tisztjelöltek, valamint a belső toborzásból érkező tisztek helikopteres képzésük első lépcsőfokaként ismerkednek meg a típussal, amelyet megbízhatósága, felhasználóbarát mivolta tesz az oktatásban is nélkülözhetetlenné. Emellett a típussal végzett kiképzések, hadműveleti repülések és szállítási feladatok egyaránt garantálhatók az év bármely időszakában, hiszen időjárási korlátai -40 °C és +50 °C [6].

Véleményem szerint a típus a jövőben is még számtalan fiatal kiképzését fogja támogatni. Mivel a helikopter forgószárnya jobb forgású, a hallgatók képzése támogatható szimulátorok

<sup>6</sup> Főreduktor: fordulatszám-csökkentő áttétel.

<sup>7</sup> Round per Minute: 1 perc leforgása alatti körülfordulások száma.

<sup>8</sup> Az előírt optimális fordulatszám földi alapon 375+5-5 rpm, légi alapon 358+1-5 rpm.

<sup>9</sup> Mixing Unit: szabályzó egység, amely szinkronba hozza a kormányserveket (pedálok, bot és kollektív kar) mozgását.

segítségével, ahol a beépített modul helikoptertípusa hasonló forgószárny-forgásiránnyal rendelkezik. Számos olyan kereskedelmi forgalomban lévő konzol- és kontrollercsomag kapható, amely VR-technológiával támogatva jelentős fejlődést hozhat az egyénnél, így elsajátíthatók azon mozgáskoordinációs készségek, amelyek a későbbiekben jól alkalmazhatók az AS-350B esetében.

## Felhasznált irodalom

- [1] 102 Hungarian Air Force Aerospatiale AS350 B Ecureuil. Online: [www.planespotters.net/photo/992339/102-hungarian-air-force-aerospatiale-as350-b-ecureuil](http://www.planespotters.net/photo/992339/102-hungarian-air-force-aerospatiale-as350-b-ecureuil)
- [2] Aerospatiale AS350C AStar. Online: [www.helis.com/database/cn/27622](http://www.helis.com/database/cn/27622)
- [3] Airbus Helicopters Renames Entire Product Line (2015. 03. 04.) Online: [www.helicopte-rinvestigator.com/news/850014/airbus-helicopters-renames-entire-product-line-213/](http://www.helicopte-rinvestigator.com/news/850014/airbus-helicopters-renames-entire-product-line-213/)
- [4] Átadták a Magyar Honvédség új helikoptereit (2016. 06. 15.). Online: [www.haborumu-veszete.hu/alakulatok-hirei/atadtak-a-magyar-honvedseg-uj-helikoptereit](http://www.haborumu-veszete.hu/alakulatok-hirei/atadtak-a-magyar-honvedseg-uj-helikoptereit)
- [5] Eurocopter AS-350B Pilot Training Manual, 1998.
- [6] Flight Manual AS 350B. 1977. 10. 27. Jóváhagyva: HU CAA Chief of Fly Department, 2009.
- [7] Hegyi I., Kelecsényi I., „A levegő „Mókusa”, az AS 350-355 könnyűhelikopter-család,” *Haditechnika*, 54. évf. 1. sz. pp. 57–62. 2020. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.54.1.12>
- [8] Turbomeca ARRIEL 1B Training Manual, Engine system.

---

### ***AS-350B Light-Multipurpose Helicopter in the Hungarian Air Force***

*The triumphal march of helicopters can be traced back to the beginning of the 20<sup>th</sup> century. Although the technology – in both the literal and figurative sense of the world – was just spreading its wings at the time, the versatility and countless possibilities of use and application foretold the future success of the new aircraft. As time progressed, more modern types appeared one after the other, which became more and more efficient, stronger, faster and, most importantly, more and more safe.*

**Keywords:** *helicopter, air force, versatility, AS-350B, technical, LYCOMING, ARRIEL 1B*

---

Lucz Zsolt PhD-hallgató helikopteroktató-tiszt MH Kiss József 86. Helikopterandár	Zsolt Lucz PhD Student Helicopter instructor officer Hungarian Defence Forces József Kiss 86 <sup>th</sup> Helicopter Brigade
Vegyes Kiképző Repülő Század <a href="mailto:lucz.zsolt96@gmail.com">lucz.zsolt96@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0009-0002-9801-8681">orcid.org/0009-0002-9801-8681</a>	Mixed Training Flying Squadron <a href="mailto:lucz.zsolt96@gmail.com">lucz.zsolt96@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0009-0002-9801-8681">orcid.org/0009-0002-9801-8681</a>

---

Kardos Krisztina

## Kitekintés a nemzetközi drónszabályozás világába

*A pilóta nélküli repülés fejlődése világszerte hatalmas léptékű. A bejelentett repülések száma mára vetekszik az ember által vezetett légi járművekkel történő repülések számával, és egyre inkább növekvő tendenciát mutat. Ezeknek a repüléseknek valamiféle keretet kell szabni, hogy mindenki épségben érhesen az úti céljához. Ehhez mind nemzetközi, mind pedig hazai szinten olyan jogszabályi kereteket kell felállítani, amelyben a lehető leghatékonyabban tud kiteljesedni a repülőipar. Ebben a publikációban a szerző bemutatja, hogy a dróntörvénykezést hogyan képzelték el a nemzetközi szabályozásban.*

**Kulcsszavak:** drón, drónszabályozás, nemzetközi szabályok, pilóta nélküli légi jármű

### 1. Bevezetés

A közlekedési és közlekedésigazgatási szakjogász képzés fő témája mi lenne más, mint a közlekedés földön, vízen, levegőben. A közlekedési alágazatokkal kapcsolatos jogi szabályozás megismerése valójában a mindennapi életünk része, beülünk az autóba, vagy ráülünk a kerékpárunkra, rögtön a KRESZ hatálya alatt állunk, elmegyünk evezni a Tiszára, és máris a hajózási szabályok érvényesek ránk. És a minket folyamatosan körülvevő levegő? Fontos, hogy a felettünk lévő légtér védelme érdekében szigorú szabályok érvényesüljenek annak érdekében, hogy a mindennapjainkat biztonságban élhessük.

A repülés gondolata és annak szabadsága már az idők kezdete óta foglalkoztatta az embert. A repülési álmot az emberiség az első levegőben töltött perc óta hajszoja, és ezt teszi a mai napig is, sőt amíg a Marsra el nem jut, addig fel sem fogja adni, talán utána sem. Kezdetekben könnyedén repülő, a levegőnél könnyebb gépekkel próbálkoztak, majd a levegőnél nehezebb gépeket építettek az ég meghódítására és az ellenség „megtréfálására”. Miután felismerték, hogy nemcsak csodálatos élmény a repülés, de rengeteg veszélyt is rejt, a jogszabályi háttér is megteremtették a biztonságos repüléshez. A technika dinamikus fejlődésével adottá váltak a lehetőségek arra, hogy az emberek védelme érdekében a pilóták nélkül, távoli irányítással hajtsák végre a bevetéseket. Egészen eddig. De mi vár ránk ezután?

A történelmi lépések, a légi közlekedéshez kapcsolódó alapfogalmak, valamint a nemzetközi jogszabályi rendelkezések ismertetése segít abban, hogy teljes képet kapjunk a napjainkban legdinamikusabban fejlődő közlekedési formáról, szem előtt tartva a repülésbiztonság szabályait.

## 2. Történeti áttekintés

A nemzetgazdaság és a társadalom működésének alapja az infrastruktúra, a nemzetgazdaság legfontosabb infrastruktúrája pedig a közlekedés. A közlekedés az emberiség létezése óta hosszú időn keresztül csupán két alágazatban működött: közúti és vízi közlekedésként. A közúti közlekedés további két részre bontható: közúti járműközlekedés és gyalogos közlekedés. Hazánkban 1850-ben mintegy 2000 km volt a szilárd útburkolattal ellátott országos és megyei kőutak hossza, ez a 20. század elejére 30 000 km-re nőtt.

Körülbelül két évszázaddal ezelőtt jelent meg a harmadik közlekedési alágazat, a vasúti járműközlekedés. Hazánkban az első országos vasúti pálya Pest–Vác-útvonalon 1846-ban épült, majd 1847-ben elkészült a Pest–Szolnok közötti vasúti pálya. Ezt követően gyors ütemben, roppant dinamikus fejlődött ezen alágazat. Az I. világháborúig hazánkban már 21 000 km vasúti pálya működött.

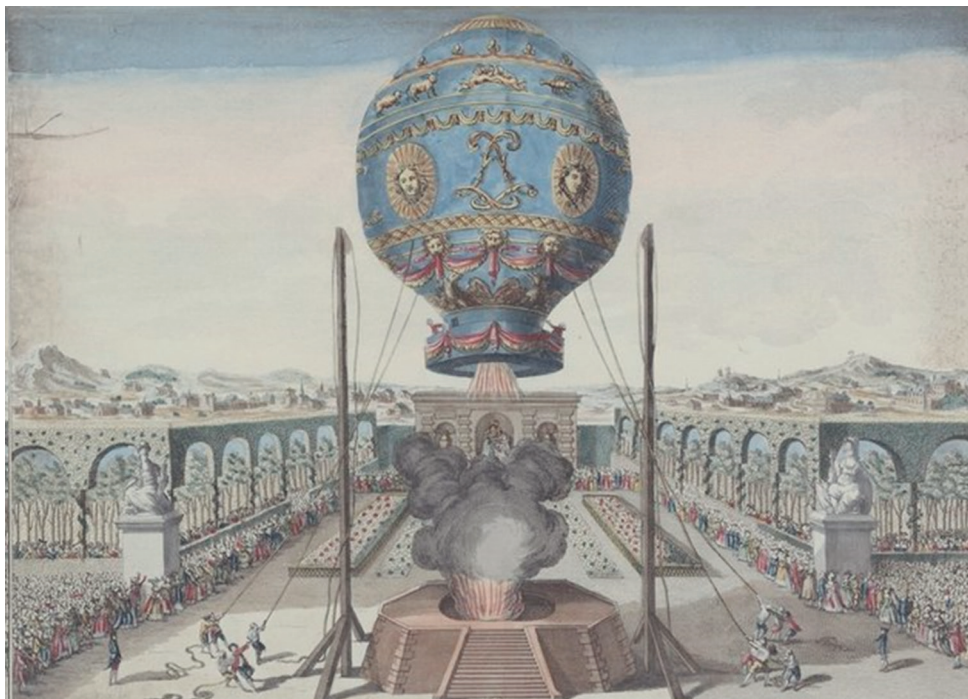
Végül több mint egy évszázaddal ezelőtt megjelent, és azóta is hihetetlen gyorsasággal fejlődik a közlekedés negyedik alágazata: a légi közlekedés [19, p. 5].

Az első működőképes repülőgépet a Wright testvérek alkották meg 1903-ban; a gép Flyer néven vált ismertté. A következő nagy előrelépést a Louis Blériot francia mérnök által megalkotott repülőgéppel érték el, amellyel átrepülték a La Manche csatorna 37 km-es távolságát [21], [28].

Az alternatív repülési módok azonban már korábban megjelentek. A középkorban számtalan vakmerő kísérletező csatolt szárnyszerű tárgyakat magára, azután leugrott egy toronyból vagy egy szikla tetejéről, és sokan halálra is zúzták magukat. A 15. századi Itália csodálatos művésze és gondolkodója, Leonardo da Vinci is megpróbálta megfejteni a repülés rejtélyét. Rájött, hogy az emberi kar túl gyenge, ezért szárnymozgató gépezeteket tervezett, amelyeknek rajzait évszázadokkal később jegyzetei között találták meg. Sohasem próbálta meg megépíteni ezeket a gépezeteket, igaz, nem is tudott volna velük repülni, hiszen az ő korában még nem voltak megfelelően könnyű anyagok ehhez. A legelső között volt azonban, aki már tudományos alapon próbált repülő gépezeteket alkotni.

Az 1700-as évek közepén a franciaországi Annonay-ben működő papírgyáros család két sarja, a később csak Montgolfier fivérekként ismert Joseph és Étienne kísérletezni kezdtek, és először vízgőzzel próbálták magasba emeltetni hőlégballonjukat (ahogyan az az 1. ábrán látható), de a kihűlő vízgőz kicsapódott és átnedvesítette a papírból készült ballont.

Először üresen engedték fel léggömbjüket, később állatokat (egy juhott, egy kakast és egy kacsát) helyeztek a kosárba. Végül eldöntötték, hogy elvégzik az első emberrel végzett repülést. Egy fiatal orvos, Pilâtre de Rozier (ő lett később az első ember, aki légi balesetben meghalt) és François Laurent, Arlandes márkija vállalta, hogy beszállnak a léggömb gondolójába. Így az első, embert is szállító hőlégballonos repülést ők hajtották végre 1783. október 19-én Párizs mellett. A hivatalos, több száz meghívott előtt végrehajtott repülésre 1783. november 21-én került sor. A repülés 25 percig tartott, ezalatt körülbelül 7,5 km-t sikerült megtenni [37].



1. ábra

*A Montgolfier testvérek 1783. október 19-i kísérlete (saját szerkesztés a [31] alapján)*

### 3. Alapvető fogalmak

A következő részben a légi jog legfontosabb, témához kapcsolódó, légi közlekedéssel összefüggő fogalmait mutatom be. Ezen fogalmak olyan ismeretet nyújtanak, amelyek a terület tanulmányozása során nélkülözhetetlenek. Rá kellett ébrednem arra, hogy e fogalmak ismerete a rohamosan fejlődő világunkban igenis fontos, mert hamarosan eljön az idő, amikor a csomagjaimat nem a postai futár hozza, hanem egy drón helyezi el az ajtónk előtt. Valószínűleg a munkám során is egyre több esetben fogok találkozni olyan szituációval, amikor felmerül pilóta nélküli légi járművek használata, akár adatvédelmi szabályszegések miatt, akár zaklatási ügyekben. Mind magánjogi, mind büntetőjogi szempontból tehát fontos lehet e szakterület ismerete.

A légi közlekedés az egyik legjobban és legszigorúbban szabályozott iparág. A technika rohamosan fejlődik, azonban a rendkívül szigorú és mindent átfogó szabályok betartása lehetővé teszi, hogy a repülésbiztonság színvonala magas fokú legyen. A légi jog nemzetközi szabályai, valamint a nemzeti jog közjogi és magánjogi normái szervesen illeszkednek egymáshoz, és a nemzetközi jogforrások mélyebb megismerése segít eligazodni a globális világ szabályozói rendszerében [30], [34, pp. 17–22., p. 52., p. 65.].

### 3.1. Légi jog

A légi jog önálló jogág, a nemzetközi jog azon ága, amely a polgári légi közlekedéssel foglalkozik, beleértve azokat a nemzetközi intézményeket, amelyek kapcsolódnak a légi közlekedéshez. A légi jog fogalmát a légtérre és a repülés szabadságára, valamint korlátozására kimunkált jogi elvek és a légi közlekedést szabályozó nemzetközi szerződések és megállapodások alakították ki. „Ma a légi jog úgy határozható meg, mint azon magatartási szabályok összessége, melyek a légtér és a repülőterek használatát és a légiközlekedést szabályozzák, beleértve a légtér és a repülőterek használóinak és szolgáltatóinak jogait és kötelezettségeit megállapító szabályokat és szerződéseket.” [20, p. 14., pp. 53–56., p. 61.] A légi jog főképpen a közigazgatási és a polgári jogi normákkal ötvöződik, interdiszciplináris jogterület, amely több tudományágra is kiterjed. „A légijog egyedi (sui generis) voltát éppen a repülés biztonságával és a légiközlekedés védelmével szemben támasztott rendkívül szigorú »vérről írt« követelményrendszer támasztja alá” [35, p. 29., pp. 53–54., pp. 55–56., pp. 67–72., pp. 39–41., p. 84.]. Fontosnak tartom megjegyezni, hogy a légi jog nem azonos fogalom a légi közlekedési joggal, ami a légi jognak az egyik legfontosabb területe. A légi közlekedési jog személyek és áruk légi jármű általi szállításával közvetlenül vagy közvetve összefüggő közjogi normák összességét jelenti [18, p. 26., pp. 32–35.].

A légi jog nemzetközi és nemzeti szabályai szervesen illeszkednek egymáshoz, csakis együtt tudnak hatást gyakorolni az iparág egységes követelményrendszerének fejlődésére. A légi jog általános jogforrásai: a nemzetközi szerződések (például 1947. évi párizsi békeszerződés), nemzetközi egyezmények (például 1944. évi chicagói egyezmény), uniós jogi aktusok (európai parlamenti döntések, Európa Tanács rendeletei és irányelvei), valamint a hazai törvények és rendeletek.

A légi jog kiindulópontja változatlanul az, hogy az állam teljes és kizárólagos szuverenitással rendelkezik a területe felett található légtér tekintetében. Ugyanakkor az államterületen kívül található nemzetközi légtérre nem szabad az államoknak kiterjeszteniük szuverenitásukat, mivel a világűr – ellentétben a légtérrel – szabadon kutatható és használható. Az 1967-ben aláírt Világűrszerződés 1. cikk 2. bekezdése alapján: „A világűr, beleértve a Holdat és más égitesteket, valamennyi állam az egyenlőség alapján és a nemzetközi joggal összhangban minden megkülönböztetés nélkül szabadon kutatható és használható, és az égitestek minden területére a bejárás szabad” [2].

### 3.2. Légtér

A légtér fogalmának pontos meghatározásához elengedhetetlen először a szuverenitás és a terület fogalmának pontos ismertetése, amelyet az 1944. december 7. napján 52 állam által aláírt chicagói egyezmény (Egyezmény) határoz meg. Az Egyezmény 1. cikke határozza meg a szuverenitás fogalmát: „A Szerződő Államok elismerik, hogy minden Államot a területe fölötti légtérben teljes és kizárólagos szuverenitás illeti meg.” „A teljesség és kizárólagosság azt jelenti, hogy a szuverén állam légtere jogi értelemben (de jure) zárt területnek számít; de más ország légijárművei önkényesen nem repülhetnek be” [34]. A szuverenitás nem tekinthető

ugyanakkor abszolútnak, mert az államok az ebből fakadó jogosítványaikat nemzetközi kötelezettségvállalásaikkal korlátozhatják. Nemzetközi szerződésekből eredő kötelezettségek és feltételek alapján az államok engedélyezhetik, hogy más állam légi járművei a területük feletti légtérbe bepölyhessenek.

Az Egyezmény 2. cikkelye pontosan meghatározza a terület fogalmát: „Az Egyezmény szempontjából az állam területe a szuverenitása, fennhatósága, védnöksége vagy megbízáson alapuló igazgatása alatt álló földterület és az ehhez tartozó területi vizek” [3].

A nemzetközi jogi gyakorlatban általánosan elfogadott nézet, hogy a légtér mindig osztozik az alatta fekvő terület jogi sorsában.

Arra, hogy meddig terjed egy állam joghatósága, több elmélet is megfogalmazódott. Egyes korai elméletek szerint nincs határa az állami szuverenitásnak. A vonzási elmélet szerint a világűr ott kezdődik, ahol a földről elbocsátott testek még visszahullanak. Az aerodinamikai felfogás szerint a világűr ott kezdődik, ahol a levegő felhajtóereje már nem elegendő ahhoz, hogy egy légi jármű a levegőben maradjon. A világhírű magyar származású amerikai fizikus, Kármán Tódor szerint a világűr ott kezdődik, ahol az aerodinamika véget ér, és az űrrepülés elkezdődik. Az állambiztonsági elmélet szerint az állam biztonsági érdeke alapján a nemzetközi szokásjog szerint a Földtől körülbelül 90–100 km távolság az a magasság, amit már a világűrhez tartozónak lehet tekinteni. Gál Gyula, a világűrjog és nemzetközi légi jog magyar tudósa fogalmazta meg a funkcionális elhatárolás elméletét. Álláspontja szerint egy jövőben kötendő nemzetközi egyezmény úgy rendelkezhetne, hogy a felbocsátó állam joghatósága az egész repülés tartamára kiterjed [20].

A magyar légtérben való repülés általános szabályait a légi közlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény (Lt.) szabályozza [4], azonban a részletszabályokat további rendeletek (végrehajtási rendeletek) határozzák meg:

- 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet a magyar légtér igénybevételéről [11];
- 26/2017. (III. 1.) GKM-HM-KvVM együttes rendelet a magyar légtér légiközlekedés céljára történő kijelöléséről [1];
- 56/2016. (XII. 22.) NFM rendelet a Magyarország légtérében és repülőterein történő repülések végrehajtásának szabályairól [12];
- 3/2006. (II. 2.) HM rendelet az állami repülések céljára kijelölt légterekben végrehajtott repülések szabályairól [6];
- 7/2009. (VI. 11.) HM rendelet a Magyar Honvédség légvédelmi készenléti repüléseiről [13].

A nemzeti légtér vízszintes (horizontális) kiterjedése azt jelenti, hogy az állam területe vízszintesen a szárazföld határáig, amennyiben tengerparttal rendelkező államról beszélünk, akkor a parthoz tartozó vizek feletti légtér is az ország területét képezi. „A parti tenger az ENSZ Tengerjogi Egyezménye (UNCLOS<sup>1</sup>) alapján a parttól számítva legfeljebb 12 tengeri mérföldig tart” [35]. Az így kijelölt területet minden légi jármű-vezetőnek és minden hajónak nagyon komolyan kell venni, mert ez a terület az állam védelme alatt áll, és ehhez fűződő jogait maradéktalanul érvényesíti. Ugyanakkor a nyílt tenger egyetlen állam területéhez sem tartozik, békés célokra bárki szabadon használhatja. A nyílt tenger jogállása azonos a világűr jogállásával.

<sup>1</sup> United Nations Convention on the Law of the Sea.

A nemzeti légtér függőleges (vertikális) kiterjedésével kapcsolatban a kérdés, hogy hol ér véget a légtér, és hol kezdődik a világűr, az első mesterséges műholdak felbocsátásakor merült fel először. A Szovjetunió által 1957-ben felengedett első műhold a repülők repülési magasságát lényegesen meghaladva, a földközeli állásakor 215 km-re az érintett államok légtérén belül tartózkodhatott, ezzel megsértette több állam területi integritását. A Szputnyik-1 elnevezésű műhold kilövésével megkezdődött az űrkorszak. Ezt követően szükségessé vált annak tisztázása, hogy hol ér véget a légtér, és hol kezdődik a világűr. Jogi értelemben is elengedhetetlen meghatározni a légtér és a világűr határát, mivel a légtérre kiterjed az adott állam szuverenitása, míg a világűr mindenki által szabadon használható békés célokra. Fontossága ellenére azonban a mai napig nincs egységes megállapodás, pedig e téma az ENSZ Világűr Bizottságának<sup>2</sup> 1967 óta szerepel a napirendjén, eddig eredménytelenül [35].

Hazánkban az Lt. 4. §-a határozza meg a magyar légtér fogalmát, „A magyar légtérben az állam – a magyar légtér légiközlekedés céljára történő kijelöléséről, valamint a légiforgalmi szolgálatok ellátásának szabályairól szóló jogszabály rendelkezéseinek megfelelően – légina-  
vigációs, távközlési és légtér-ellenőrzési szolgálatot lát el” [4].

A nemzetközi légtér (amely nem áll állami szuverenitás alatt) jogállása azonos a világűr és a nyílt tenger státuszával, békés célokra mindenki szabadon használhatja.

Fontosnak tartom a magyar légtér használatával kapcsolatos alapvető fogalmak ismeretét is. A hazai légtérhasználat szabályozása biztosítja a biztonságos repülést hazánkban. A magyar légtér Magyarország határvonalával körülhatároltan kizárólagos és elidegeníthetetlen, hazánk tulajdona, a légi közlekedés számára fizikailag igénybe vehető magasságig terjedő része. A légi közlekedési célra kijelölt légtér légi forgalmi légtérre, időszakosan korlátozott, korlátozott, veszélyes és tiltott légterekre oszlik.

A magyar légtér igénybevételére vonatkozó alapvető rendelkezéseket a magyar légtér légi közlekedés céljára történő kijelöléséről szóló 26/2007. (III. 1.) GKM-HM-KvVM együttes rendelet szabályozza [5].

A repülésre való felkészülésnél a pilóták segítségére lehet a HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt. (HC Zrt.) honlapján található napi légtérfelhasználási terv, valamint a NetBriefing<sup>3</sup> oldal, ahol az aktív légterekről lehet tájékozódni.

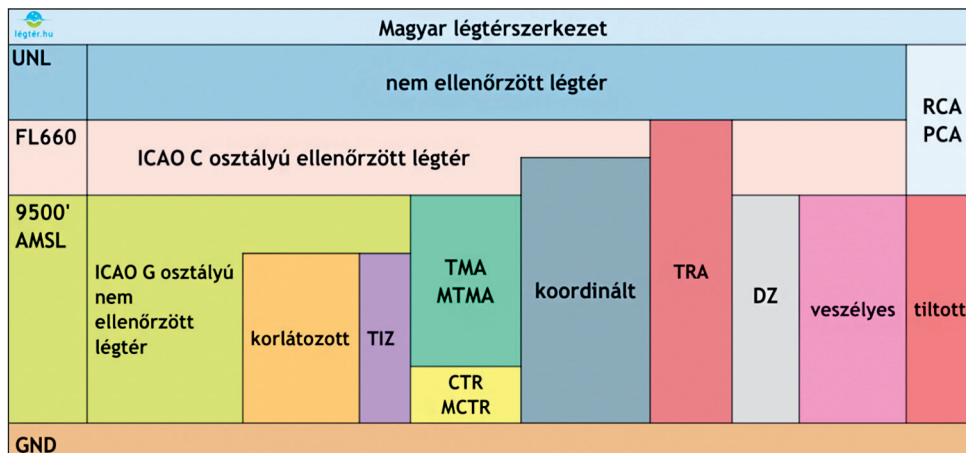
A magyar légtér légi közlekedés céljára történő kijelöléséről szóló 26/2007. (III. 1.) GKM-HM-KvVM együttes rendelet 2. §, 3. §-a rendelkezik a légi forgalmi légtérrel, amely lehet ellenőrzött vagy nem ellenőrzött légtér. A záró rendelkezések és mellékletek határozzák meg a 2. ábra alapvető fogalmait [5].

Ellenőrzött légterekben a légi járművek számára légi forgalmi irányító szolgáltatást biztosítanak, ilyen légtér többek között a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtérhez, továbbá a katonai repülőterekhez köthető légterek, valamint a légtér 9500' és FL 660 közötti része.

Nem ellenőrzött pedig egyszerűen a légtér azon része, amely az ellenőrzött légtéren kívüli rész.

<sup>2</sup> COPUOS: United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space.

<sup>3</sup> Ingyenes webalapú szolgáltatás, amellyel a kisgépes pilóták egyszerűbben fel tudnak a repülésekre készülni. Ezzel lehetővé válik, hogy a pilóták a repülési terveket bárholon benyújthassák.



2. ábra  
A magyar légtér szerkezet [17]

Korlátozott légtérnek tekintjük a légtér azon részét, amelybe a berepülés a légi közlekedési hatóság engedélyével lehetséges.

Időszakosan korlátozott légtérben olyan állami (katonai, műveleti vagy veszélyes üzemi) repülési tevékenység folyik, amely veszélyt jelent az oda berepülőkre, ezért a légtér használata az üzemidő alatt csupán a tevékenységet folytató illetékes állami szerv engedélyével lehetséges.

A veszélyes légtér arra utal, hogy a légtérben olyan veszélyt jelentő tevékenység folyik, például tüzérségi vagy gyalogsági löterek felett, amelybe a berepülés nagy kockázatot jelent. A műveleti tevékenység idejére berepülés nem tervezhető.

Tiltott légtérbe pedig – jogszabályban meghatározott eset kivételével – tilos a berepülés. A 26/2007. (III. 1.) GKM-HM-KvVM együttes rendelet 8. § (2) bekezdésében foglaltak szerint [1] kivételes indokból (például katasztrófa, veszélyhelyzet elhárítása, a nemzet biztonsága, a közrend vagy közbiztonság fenntartása, illetve helyreállítása érdekében, honvédelmi érdek alapján vagy kutatási célból) van lehetőség a tiltott légtérben történő repülésre, amelyet a légi közlekedési hatóság, a katonai légügyi hatóság vagy az érintett miniszter javaslatára az innovációs és technológiai miniszter esetileg engedélyezhet. Hazánkban Paks és Csillebérc térségében van tiltott légtér. E légtértípus általában olyan légtér, amely valamely speciális objektum, atomerőmű, ipari létesítmények felett helyezkedik el [35].

A 2. ábrán látható rövidítések a következők:

- CTR (Aerodrome Control Zone) – polgári repülőtéri irányító körzet;
- MCTR (Military Aerodrome Control Zone) – katonai repülőtéri irányító körzet;
- TMA (Terminal Control Area) – polgári közeli körzeti irányítói körzet;
- MTMA (Military Terminal Control Area) – katonai közeli körzeti irányítói körzet;
- CTA (Control Area) – polgári irányítói körzet [5].

Mint látható, a légtérünk különböző körzetekre van felosztva attól függően, hogy az érintett légtér használatához kapcsolódó engedély kinek a hatáskörébe tartozik.

A légtérben van egy, az ejtőernyős ugrások vagy műrepülés védelme céljából kijelölt légtér, az úgynevezett Drop Zone, amely alapvetően e tevékenységek végrehajtására igénybe vehető, bejelentett üzemidő szerint működő, repülőterek felett kijelölt légtér. Ezekben a légterekben légi forgalmi szolgáltatást nem biztosítanak [5].

Publikációm témája szempontjából fontosnak tartom részletesen foglalkozni az eseti légtér fogalmával, amelyet abban az esetben szükséges kijelölni, ha

- a légi közlekedés biztonságára veszélyes esemény, például tűzijáték zajlik;
- a repülés a repülési szabályok szerint nem hajtható végre az adott légtérben;
- légi bemutatók és rendezvények esetén;
- a pilóta nélküli polgári és a pilóta nélküli állami légi járművel végrehajtott repülések esetén, amely a publikációm témája szempontjából a legényegesebb.

Az eseti légtér kijelölését a katonai légügyi hatóság kijelöléséről szóló 392/2016. (XII. 5.) Korm. rendelet 3. § p) pontjában meghatározottak alapján a Honvédelmi Minisztérium keretén belül működő katonai légügyi hatóság végzi [33].

### 3.3. Légi jármű

1944. december 7. napján alakult meg a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet<sup>4</sup>. Az ENSZ repüléssel foglalkozó azon szakosított szerve, amelyet a Chicagóban 52 állam által aláírt nemzetközi polgári repülésről szóló egyezmény hozott létre. Arra hivatott, hogy biztonságosabbá és könnyebbé tegye a repülést. Az ICAO-nak 2019-ben 193 tagja volt [24].

Az egyezmény, habár nem határozza meg a polgári légi jármű és az állami légi jármű fogalmát, a 3. cikk a) pontja kimondja, hogy „kizárólag a polgári légi járművekre vonatkozik, az állami légi járművekre nem alkalmazható” [3]. Az egyezmény rendelkezéseiben nem találjuk a légi jármű fogalmát, csupán a légi járművek felség- és lajstromjeleiről szóló 7. függeléke mondja ki, hogy „légi jármű bármely olyan szerkezet, amelynek levegőben maradását a légkörben a levegővel való kölcsönhatás segíti, amely nem azonos a föld felszínére ható ellenhatással.” Ez a kölcsönhatás: a levegőnél nehezebb légi járművek esetén az aerodinamikai felhajtóerőtől származik, mert ezek a légi járművek a repülés közben a felhajtóerőt elsősorban az aerodinamikai erőkből nyerik; a levegőnél könnyebb légi járművek esetén a fajsúlykülönbségből származik, mert a levegő felhajtóereje tartja ezeket a légi járműveket a levegőben [36].

A légi járművekre vonatkozó szabályozások bemutatásánál fontos élesen elkülöníteni a polgári és az állami légi járműveket, a megkülönböztetés alapja pedig elsődlegesen a légi járművek funkciója és a felhasználásuk célja. Az egyezmény 3. cikk b) pontja példálózó jelleggel, a közhatalmi funkciók felsorolásával bemutatja, hogy mi minősül állami légi járműnek: „a katonai, a vám- és a rendőri szervek céljára szolgáló légi járművet állami légi járműnek

<sup>4</sup> International Civil Aviation Organization – ICAO.

kell tekinteni." [3] Polgári légi jármű lehet magántulajdonban, jogi személy tulajdonában vagy vállalati tulajdonban, vagy van olyan légi jármű, amely társas tulajdonban van. Használati jogát tekintve megkülönböztetünk menetrendszerű kereskedelmi légi szállításra szolgáló eszközt vagy nem menetrend szerinti légi fuvarozó eszközt [20].

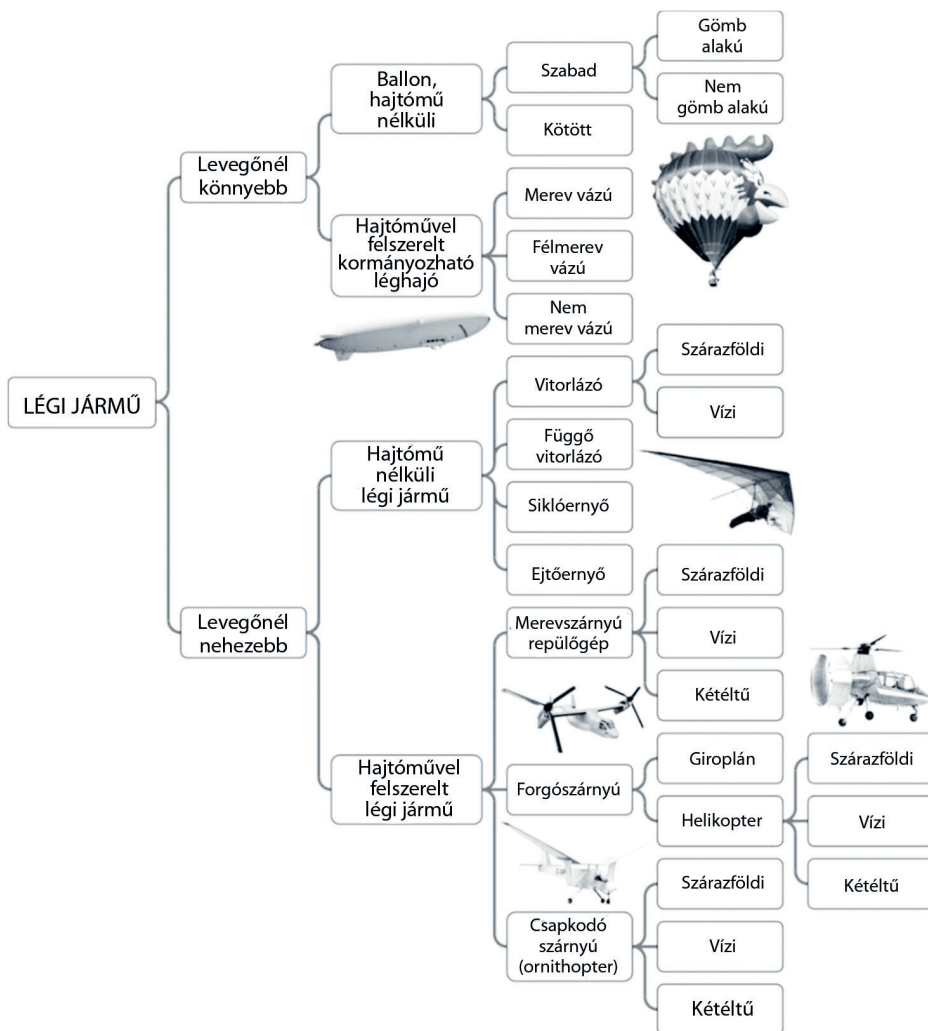
Megállapíthatjuk, hogy a légi jármű tág fogalom, amelybe a hagyományos értelemben vett széles és keskeny törzsű utasszállító repülőgépeken túl a helikopterek, a ballonok, a léghajók, a vitorlázó repülőgépek, de még a papírsárkányok is beletartoznak. Ebből az is következik, hogy minden repülőgép légi jármű, de nem minden légi jármű repülőgép. Például az űrrepülőgép felszálláskor nem minősül légi járműnek, mert akkor rakétameghajtással hagyja el a Föld felszínét, viszont leszálláskor már légi járműként viselkedik, mert a levegővel való kölcsönhatás segítségével száll le, az államok azonban a légtérbe belépő, a világűrből visszatérő űreszközt mégsem minősítik légi járműnek, jogilag űreszközként tartják nyilván [36].

A polgári és állami légi járművek elhatárolás legfontosabb aspektusa, hogy az állami légi járművekre a nemzeti jog belső szabályai vonatkoznak, vagyis az egyezmény szabályai nem. Az elhatárolás fő szempontjai még a jogi és hatósági követelményekből eredő különbségek, amelyek a repülési feladatok végrehajtása során az eltérő engedélyezési folyamatokban és üzemeltetési eljárásokban nyilvánulnak meg. Tehát a polgári és állami légi járművek elhatárolásának egyik fő szempontja az engedélyezési eljárásokban nyilvánul meg, önmagában nem a repülő járművek tulajdonjogi viszonya, hanem a vele végrehajtandó feladat határozza meg, hogy milyen típusba soroljuk. Ha egy polgári légi járművet speciális feladatra használnak, például állami vezetők szállítására vagy katonai célra, akkor államinak minősül. Ugyanakkor titkos vagy szigorúan titkos diplomáciai poggyász szállítása polgári légi járművel nem minősül állami célnak.

A hatályos légügyi törvény a chicagói egyezményrel ellentétben meghatározza mind az állami légi jármű, az állami célú légi közlekedés, mind a polgári légi jármű fogalmát. Állami légi járműnek kell tekinteni a honvédelmi miniszter által kibocsátott rendeletben meghatározott nyilvántartásba bejegyzett, honvédelmi, vámhatósági vagy rendvédelmi szervek céljára szolgáló légi járművet.

A polgári légi járművekre a repülés szabályszerű végrehajtásakor viszonylag enyhébb rendelkezések vonatkoznak. A besorolási elvek érvényesülése miatt az állami légi járművekre speciális szabályok és eljárások vonatkoznak, amelynek betartása a katonai légügyi hatóság kiemelt feladata és felelőssége [34].

A légi járművek nyomon követése fontos feltétele annak, hogy hazánkban a repülés biztonsága megfelelő legyen. A nyomon követéshez az állami és a polgári légi járművek nyilvántartásba vétele, illetve lajstromba vétele szükséges, amely alapján végig lehet követni az életútjukat. Az állami légi járművek adatait hazánkban a Magyar Állami Légijármű Nyilvántartás, míg a polgári légi járművek adatait a Magyar Állami Légijármű Lajstrom tartalmazza. Az állami és a polgári légi járműveken egyaránt szükséges hazánk felségjelét feltüntetni, amely a piros-fehér-zöld színjelzés, valamint a polgári légi járműnél a lajstromjelet, az államinál a fedélzeti azonosítójelet kell megjeleníteni.



3. ábra

Légi járművek rendszerezése [35]

A 3. ábrán a jelenleg hatályos magyar légi jogi szabályok szerint osztályozott légi járművek vannak felsorolva. A felsorolásból kimaradtak a pilóta nélküli légi járművek, mert az itt meghatározottak bármelyike lehetne pilóta nélküli is egyben.

A nemzetközi polgári repülésben (a személy- és áruszállításban) kiemelkedően a repülőgépeknek és a helikoptereknek van jelentősége. A repülőgép olyan, a levegőnél nehezebb, erőgép-meghajtású légi jármű, amely a repülés közben a felhajtóerőt elsősorban a repülés adott szakaszaiban rögzített helyzetben maradó felületeire ható aerodinamikai reakciók révén nyeri. A helikopter olyan, a levegőnél nehezebb légi jármű, amelynek levegőben maradását egy általában függőleges tengelyre szerelt egy vagy több erőgép-meghajtású rotorlapáton képződő felhajtóerő biztosítja.

### 3.4. Pilóta nélküli légi jármű

Pilóta nélküli légi járműnek tekintjük azokat a légi járműveket, amelyeknek az irányítását nem a légi jármű fedélzetén helyet foglaló személy végzi.

Az UAV<sup>5</sup> azt a légi járművet jelöli, amelynek fedélzetén nincs irányító ember. Gyakran használják rá a drone/drón – „hereméh” megnevezést is [29].

Távoli pilóta az a személy, aki felelősséggel tartozik a pilóta nélküli repülés biztonságos végrehajtásáért, folyamatosan figyelemmel kíséri annak menetét, és bármikor képes beavatkozni.

A pilóta nélküli légi járművek esetében is megkülönböztetünk állami és polgári légi járműveket.

A magyar drónszabályozás a pilóta nélküli állami és polgári légi járművek felhasználása szempontjából élesen elhatárolható az alábbiak szerint:

- 1) pilóta nélküli állami légi járművek:
  - a honvédelmi;
  - a rendőrségi, a határőrizeti;
  - és a vámhatósági célú légi járművek.
- 2) pilóta nélküli polgári légi járművek:
  - állami szerv feladatának végrehajtása érdekében végzett;
  - gazdasági célú;
  - és szabadidős célú légi járművek.

E pilóta nélküli légi járművek különbségét a hagyományos pilótával rendelkező légi járművek esetéhez hasonlóan a felhasználásuk célja határozza meg. Az Lt. 71. §. 42. pontja rögzíti a pilóta nélküli állami légi jármű fogalmát a következők szerint: „honvédelmi, vámhatósági, rendvédelmi vagy rendvédelmi feladatot ellátó szervek céljára szolgáló, a honvédelemért felelős miniszter rendeletében meghatározott nyilvántartásba felvett légi jármű, továbbá a pilóta nélküli állami légi járművek repüléséről szóló kormányrendeletben meghatározott üzembentartó által üzemben tartott pilóta nélküli légi jármű” [4]. Az A1–B2 kategóriába tartozó pilóta nélküli állami légi jármű a légi közlekedésben akkor vehet részt, illetve akkor tartható üzemben, ha a katonai légügyi hatóság a pilóta nélküli állami légi jármű és pilóta nélküli állami légi jármű-rendszer üzembentartóját nyilvántartásba vette. A nyilvántartásba vétellel vonatkozó közigazgatási hatósági eljárás az üzembentartó kérelmére indul. A 2021. február 10. napján hatályba lépő pilóta nélküli állami légi járművek repüléséről szóló 38/2021. (II. 2.) Korm. rendelet 1. § 15. pontja rendelkezik a pilóta nélküli állami légi jármű-rendszerről és kimondja, hogy az a pilóta nélküli állami légi járművet, a pilóta nélküli állami légi jármű vezetéséhez szükséges távvezérlő munkaállomást és az ezek közötti folyamatos adatkapcsolatot nyújtó berendezést, valamint a pilóta nélküli állami légi járművel végrehajtott repüléshez szükséges egyéb berendezéseket magában foglaló rendszer [7].

Az egyes légi közlekedési tárgyú kormányrendeletek módosításáról szóló 39/2021. (II. 2.) Korm. rendelet határozza meg a pilóta nélküli polgári légi járművekkel kapcsolatos

<sup>5</sup> Unmanned Aerial Vehicle/Unmanned Aircraft System, pilóta nélküli légi jármű/pilóta nélküli légi jármű-rendszer, drón.

rendeleteket [9]. Ez a jogszabály tartalmazza mindazon jogszabályok módosítását, amelyek lehetővé teszik a hazai polgári drónozás részletszabályainak meghatározását. Tartalmazza többek között az Lt. végrehajtási rendeletének, azaz a 141/1995. (XI. 30.) Korm. rendeletnek [1], a 4/1998. (I. 16.) Korm. rendeletnek [11], a magyar légtérstruktúrát meghatározó 26/2007. (III. 1.) GKM-HM-KvVM együttes rendeletnek [5], a légi közlekedési felelősségbiztosításról szóló 39/2001. (III. 5.) Korm. rendeletnek [9] és egyéb, más jogszabályok módosítását is.

A leírtak alapján megállapítható, hogy a pilóta nélküli állami légijármű-kategóriába tartoznak a honvédség, a NAV, a nemzetbiztonsági szolgálatok, a rendőrség (például TEK, Készenléti Rendőrség stb.), az Országgyűlési Őrség, a katasztrófavédelem, a büntetés-végrehajtási szervezet és az idegenrendészeti szervek eszközei, míg az ezen felül üzemeltetett repülőeszközök pilóta nélküli polgári légi járműnek minősülnek.

Az Lt. 71. §. 50. pontja rendelkezik a pilóta nélküli játék légi jármű fogalmáról: „a játékok biztonságáról szóló, 2009. június 18-i (EK) 2009/48. európai parlamenti és tanácsi irányelv alapján játéknak minősülő és 120 g maximális felszálló tömeget el nem érő, adatrögzítő eszközzel fel nem szerelt pilóta nélküli légi jármű, amely a távoli pilótától 100 méternél nagyobb távolságra eltávolodni nem képes.” [4]

Pilóta nélküli légi járműnek tekintünk tehát minden olyan polgári légi járművet, amelyet úgy terveztek és tartanak üzemben, hogy az eszköz irányítását nem a fedélzetén tartózkodó személy végzi. Ezen légijármű-kategória magában foglalja a pár cm-es gyermekjátékokat és akár a repülőgépek tömegével és méretével vetélkedő típusokat is.

A pilóta nélküli polgári légi járművekkel kapcsolatos szabályok megismeréséhez elengedhetetlen a következő két európai uniós rendelet ismerete, amelyeket együttesen kell értelmezni és alkalmazni a hazai szabályokkal:

- a Bizottság 2019/945/EU felhatalmazáson alapuló rendelete (2019. március 12.) a pilóta nélküli légijármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légijármű-rendszerek harmadik országbeli üzembentartóiról [14];
- valamint a Bizottság (EU) 2019/947/EU végrehajtási rendelete (2019. május 24.) a pilóta nélküli légijárművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról [15].

Ez a két uniós rendelet nem önmagukban a drónokkal foglalkozik, hanem egységesen a hozzájuk tartozó távirányító egységet irányító üzembentartókat pilóta nélküli légijármű-rendszerként<sup>6</sup> szabályozza.

Pilóta nélküli légi járműnek, drónnak minősül minden olyan légi jármű, amely önálló vagy távirányítású üzemelésre képes, a leggyakrabban alkalmazott multirotoros és merevszárnyú távvezérlésű eszközök. Ezen kategóriába tartoznak a modellrepülőgépek, a helyből felszálló drónok, vagy akár a nagyon kis méretű, kamera nélküli játékok is [16]. A legismertebb drónok egyike a DJI Mavic Mini (lásd 4. ábra).

<sup>6</sup> UAS: Unmanned Aircraft System.



4. ábra  
DJI Mavic Mini [27]

### 3.5. Hatóságok

Az Lt. [4], valamint a 39/2021. (II. 2.) Korm. rendelet [9] tartalmazza azokat a szabályokat, amelyek a jogszerű üzemeltetéshez szükséges engedélyek kibocsátásáról és egyéb, légi közlekedési szabályokról, hatósági eljárásokról rendelkezik.

Az Lt. rögzíti a légi közlekedési hatóság feladatait, ugyanakkor a részletszabályokat további rendeletek határozzák meg. A polgári célú légi közlekedéssel összefüggő hatósági feladatokat az Innovációs és Technológiai Minisztérium keretén belül működő légi közlekedési hatóság (ITM négy főosztálya) végzi, míg az állami célú légi közlekedéssel összefüggő hatósági feladatokat a Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztály látja el.

A katonai légügyi hatóság kijelöléséről szóló 392/2016. (XII. 5.) Korm. rendelet [10] szerint a Kormány katonai légügyi hatóságként országos illetékességgel a honvédelemért felelős minisztert jelölte ki. A kormányrendeletben meghatározott feladatok végrehajtása érdekében 2016. szeptember 1-jével létrehozták a Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztályt, amely a katonai légügyi hatósági feladatok ITM-től történő visszavételét követően, 2017. január 1-jével látja el újból az állami célú légi közlekedéssel összefüggő hatósági feladatokat.

A katonai légügyi hatóság hatáskörébe tartozó, pilóta nélküli légi járművekkel kapcsolatos ügyek, különösen:

- az eseti légtér kijelölésére vonatkozó ügyek;
- a pilóta nélküli állami légi járművek üzembentartóinak nyilvántartása.

A fent leírtak és a katonai légügyi hatóság statisztikájáról szóló részben leírtak alapján láthatjuk, hogy a 2021. évben hatályba lépett új drónszabályozás jelentős terhet ró a hatóságra.

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium feladat- és hatáskörébe tartozó légügyi szakterületeket a 382/2016. (XII. 2.) Korm. rendelet [8] tartalmazza, ez alapján az ITM közlekedési hatósági ügyekért felelős helyettes államtitkárnak irányítása alatt működő főosztályok országos illetékességgel látják el a polgári légi közlekedési hatósági feladatokat. A következő főosztályok működnek az ITM keretén belül:

- Léginavigációs és Repülőtéri Hatósági Főosztály;
- Légügyi Felügyeleti Hatósági Főosztály;
- Légügyi Kockázatértékelési Hatósági Főosztály;
- Légügyi Szakszolgálati Hatósági Főosztály.

Az ITM vezeti a polgári célú légi közlekedéssel kapcsolatos nyilvántartásokat is, többek között a repülőterek nyilvántartását, illetve a korlátozott légterek nyilvántartását [25].

### 3.6. Chicagói egyezmény

Az I. világháborút követően London és Párizs között menetrend szerinti légi járatok indultak, aminek köszönhetően megfogalmazódott az igény arra, hogy megalkossák a légi közlekedés szabályait. 1919. október 13-án írták alá a párizsi egyezményként elhíresült szerződést, amelyet az antant légi közlekedési bizottsága készített el. Ez volt az első nemzetközi légi közlekedést szabályozó egyezmény, amely rögzítette, hogy az aláíró államoknak (összesen 27) a területe feletti légtér vonatkozásában teljes és kizárólagos joga van. A párizsi egyezmény létrehozta a Nemzetközi Légi Közlekedési Bizottságot (CINA), amely alapvetően műszaki és technikai vívmányok jogi szabályozásával, valamint a légi irányítással kapcsolatos adatgyűjtéssel lett megbízva. A párizsi egyezmény meghatározta a légi jármű fogalmát is. Minden olyan eszközt légi járműnek tekintett, amely a levegővel reakcióba lépve képes fennmaradni. Ezt követően több állam kezdeményezésére is születtek megállapodások, amelyek a légi közlekedés szabályozását hivatottak egyre szélesebb körben elfogadtatni. 1926-ban spanyol kezdeményezésre született meg a madridi egyezmény, majd 1928-ban a pánamerikai vagy havannai egyezmény. A nemzetközi légi fuvarozással kapcsolatosan 1929-re több mint harminc megállapodás született [18]. A kétoldalú és többoldalú megállapodásokat, illetve egyezményeket aláíró és elfogadó államokban felmerült az igény egy egységes szerkezetbe foglalt egyezmény megalkotására, annak érdekében, hogy a légi közlekedés egységesen szabályozott legyen a világ minden pontján. Így hosszas egyeztetés után Roosevelt amerikai elnök meghívására 1944 novemberében 52 ország diplomáciai képviselője ült össze Chicagóban, hogy megalkossanak egy új nemzetközi légi közlekedési egyezményt, amely chicagói egyezmény néven vált ismertté. Erre a megbeszélésre 54 állam kapott meghívást, azonban Szaúd-Arábia azt nem fogadta el, a Szovjetunió pedig visszahívta a delegációját. A Szovjetunió visszalépése csalódás volt a részt vevő államoknak, mert a világ egyik legnagyobb országa lévén fontos lett volna az együttműködés. A Szovjetunió egészen 1970-ig nem is csatlakozott a chicagói egyezményhez. A bonyodalmaktól függetlenül a részt vevő államoknak sikerült lefektetni a légi közlekedés alapelveit és egységes szabályait, a megállapodás 1944. december 7. napján született meg. Rendelkezéseit hazánkban az 1971. évi 25. törvényerejű rendelet deklarálta „a nemzetközi polgári repülésről Chicagóban, az 1944. évi december hó 7. napján aláírt Egyezmény és az annak módosításáról szóló jegyzőkönyvek kihirdetéséről került elfogadásra” [3], [35]. Az egyezmény megteremtette a légi közlekedés egyetemes kereteit és alkotmányos alapját, megalkotta a nemzetközi polgári repülés közjogát, valamint a légi közlekedéssel kapcsolatos alapvető fogalmakat és a légi szabadságjogokat is.

Az egyezmény aláírásával megszületett a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (ICAO – International Civil Aviation Organization). Az ICAO az ENSZ szakosított intézménye,

amely a nemzetközi polgári légi közlekedéssel foglalkozik. Az ICAO a nemzetközi polgári légi közlekedés államközi szintű csúcsszervezete, és mint egyetlen globális szervezet biztosítja az egész világon a nemzetközi polgári repülés legmagasabb fokú biztonságát. Fontos feladata ennek érdekében nemzetközi szinten a műszaki és technikai követelmények egységes szabályozása. A legfontosabb célkitűzése, hogy a repülésbiztonság és a légiközlekedés-védelem minden állam számára kiemelkedő fontosságú legyen, és a tagok garantálják a légi szabadságjogok maximális érvényesülését. Ennek érdekében nemzetközi szabványokat és ajánlott gyakorlatokat fogad el és tesz közzé. Az ICAO Tanácsa a szakbizottságokkal szorosan együttműködve függelékekben adja ki a légi közlekedés szakterületeire vonatkozó legfontosabb szabályokat, amelyben a folyamatosan fejlődő és változó légi közlekedési iparág műszaki, üzemelési, szakmai szabályait adják ki annak érdekében, hogy a repülésbiztonság továbbra is kiváló legyen. Az ICAO nemzetközi szervezetébe tömörülő tagállamok a mai rohamosan fejlődő világunkban a polgári légi repülést használók, azaz utazók számára megteremtik a biztonságot, holott az utazás mindig magas kockázattal jár. Az egyezmény, rögzítve az alapvető szabályokat és alapelveket, valamennyi tagállam részére kötelezővé teszi, hogy a repülésbiztonság mint elsődleges szempont mindig érvényesüljön, és ezt a tagállamok saját jogrendszerükbe átültetett és elfogadott normákkal kötelesek biztosítani [24].

## 4. Nemzetközi kitekintés

Hazánk drónszabályozása az európai uniós tagságunkra is figyelemmel, az uniós szabályokkal összhangban van, a tagállami hatáskörben maradt kérdéseket a 2021. év elején hatályba lépett nemzeti szabályozással rendezték, az EU ugyanis bizonyos kérdéseket, mint például a légtérfelhasználási szabályok és a pilóta nélküli polgári légi járművek számára korlátozott légterek kijelölését tagállami hatáskörbe utalta. Természetesen az adott tagállam adottságait figyelembe véve vannak eltérések az egységes szabályozástól, de az uniós rendeletek miatt alapjaiban azonos rendelkezések érvényesek a tagállamokban. A következőkben a terjedelmi korlátok miatt az uniós szabályozásnak csak egyes rendelkezéseire világítok rá, valamint a „drónnagyhatalom”, az Amerikai Egyesült Államok pilóta nélküli légi járművekkel kapcsolatos szabályozását taglalom röviden. Továbbá bemutatom az Egyesült Királyságban érvényben lévő szabályokat is. A világ drónhasználatát alapul véve az USA az az állam, amely a drónhasználatban élen jár, itt működik a legtöbb drón a világon.

### 4.1. Uniós szabályozás

Az Európai Unió megalakulása óta fontos szerepet tölt be a közlekedés biztonságának megteremtése és az egységes szabályozás kialakítása minden közlekedési alágazatban. A légi közlekedés térhódítása miatt és folyamatos fejlődésével a tagállamok igyekeztek megteremteni az egységes szabályozást, legfontosabb célkitűzésként megfogalmazva a repülésbiztonság alapkövetelményét. A technika dinamikus fejlődését követve a pilóta nélküli légi járművek egyre nagyobb számú elterjedése miatt a tagállamok jelezték igényüket egy egységes uniós szabályozás megalkotására. A pilóta nélküli légi járművek és légijármű-kategóriák meghatározása hosszú ideje napirendi pont volt a Bizottság és a Parlament ülésein. 2017 novemberében

az Európai Parlament jóváhagyta az Európai Tanács által előterjesztett tervezetet. Az egységes szabályozásnak elsődleges célja a pilóta nélküli légi járművek közlekedésére vonatkozóan egységes biztonsági előírások megalkotása, valamint megteremteni a gyártók számára a jobbiztonságot, hogy a termék- és szolgáltatásfejlesztés során megfelelő jogszabályi keretek között tudjanak dolgozni. Az Európai Parlament felhatalmazta az Európai Bizottságot a normák megalkotására, az alapelvek alapján a részletes uniós szabályozás kidolgozására, és arra, hogy modernizálják a repülésbiztonsági szabályokat is. A szabályok megalkotásakor elsődleges szempont a légtér biztonsága volt, szem előtt tartva a magánélet és a személyes adatok védelmét is, ugyanakkor figyelemmel kellett lenni arra, hogy az innovációt se akadályozzák, és az üzemeltetők bürokratikus terheit se növeljék aránytalanul.

2019 tavaszán megjelent az Európai Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete (2019. március 12.) a pilóta nélküli légi jármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légi jármű-rendszerek harmadik országbeli üzemeltetéséről [14], amely elsősorban piacsabályozó rendelkezéseket tartalmaz, továbbá az Európai Bizottság (EU) 2019/947 végrehajtási rendelete (2019. május 24.) a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról [15], amely főként üzemben tartási és repülés végrehajtási szabályokat határoz meg.

E két rendeletet együttesen kell értelmezni és alkalmazni, valamint valamennyi tagállamnak kötelezően át kell ültetni a szabályokat a saját jogrendszerébe. A rendeletek alkalmazása 2019. július 1. napjától kötelező, az uniós tagállamok 2020. december 31-ig kaptak határidőt a rendelkezések átültetésére a saját jogrendszerükbe.

A végrehajtási rendelet definiálja az UAS-műveletek kategóriáit, amelyet nyílt, speciális és engedélyköteles kategóriában határozott meg.

A nyílt kategória alapkövetelménye, hogy a drón legfeljebb 120 m-re távolodhat el a föld felszínétől, továbbá a távpilótának segédeszköz, például távcső nélkül folyamatosan látnia kell a drónt. A pilóta nélküli légi jármű maximális felszálló tömege nem haladhatja meg a 25 kg-ot. E kategóriába tartoznak a hobbi- és ipari felhasználású drónok. További fontos feltétel, hogy a pilóta nélküli légi járművet semmilyen körülmények között nem szabad embertömeg fölé reptetni, és kerülni kell külső személyek megközelítését is. A drón nem repülhet az úgynevezett No Drone Zone légterekben,<sup>7</sup> valamint azokon a területeken, ahol tilos a „drónozás”. A kategórián belül A1, A2, A3 alkategóriát különböztetünk meg attól függően, hogy milyen osztályú a drón – ezt a későbbiekben, 2023-tól a gyártóknak kell jelölni a drónon (C0, C1, C2 vagy C3).

Speciális kategóriába tartoznak azok a műveletek, amelyekben az UAS tömege 25 kg-nál nagyobb. E kategóriába tartozik például az az UAS-művelet, ahol több kilométer hosszú vezeték-ellenőrzés, autópálya vagy más vonalas létesítmény felmérése történik, amely során nem látjuk a drónt a teljes művelet alatt. Ebben a kategóriában a végrehajtandó műveletre figyelemmel bejelentés vagy engedély beszerzése szükséges. A speciális kategóriában való működtetés feltétele minden esetben, hogy az üzemeltető szakértő bevonásával kockázatelemzést végezzen.

Az engedélyköteles kategóriába tartozik, ha a művelet közben embertömeg fölött repül a pilóta nélküli légi jármű, ilyen például egy fesztivál, vagy akkor, ha a drón segítségével áru vagy személyszállítás valósul meg, esetleg vegyi anyag kiszórása vagy más tárgyak dobása történik.

<sup>7</sup> A magyar légtér igénybeviteléről szóló 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet 13. § 5. pontja alapján olyan légtér, amelyben a pilóta nélküli légi járművek működtetése egyes esetekben tiltott [11].

Az ilyen tevékenység végzéséhez sokkal mélyebb elméleti és gyakorlati ismeretek elsajátítása szükséges, továbbá a műveletet végző szervezetnek egyedi eljárásokat kell kidolgoznia a drón biztonságos működtetéséhez. A drónt további hatósági tanúsítás alá kell vetni, tehát elmondható, hogy komoly követelményeket kell teljesíteni az ilyen típusú műveletek végrehajtásához [15].

A pilóta nélküli légi járművekre vonatkozó szabályok egységének megalkotása mind a felhasználók, mind a gyártók számára megteremti a szabályos műveletekhez és járművekhez szükséges kereteket, valamint a jogbiztonságot.

## 4.2. Amerikai Egyesült Államok

Az elmúlt években az Egyesült Államok Kormánya a Szövetségi Légügyi Hivatal (FAA) vezetésével új szabályokat alkotott, és kísérleti programokat alkalmaz a pilóta nélküli légitársaságok integrációjának felgyorsítása érdekében a Nemzeti Légtér Rendszerben (NAS<sup>8</sup>). Jelenleg három kategóriát szabályoznak az amerikai törvények:

- szabadidős vagy hobbitevékenység;
- kereskedelmi vagy nem szabadidős tevékenységek;
- nyilvánosrepülőgép-üzemeltetés.

Az amerikai kormány felhatalmazása alapján a FAA az UAS-műveletek elsődleges felügyeletét ellátó szabályozó ügynökség, amely kizárólagos joghatósággal rendelkezik az Egyesült Államok légterében repülésbiztonság és az üzemeltetés szabályozására. Ugyanakkor több tagállamnak és önkormányzatnak is vannak saját korlátozásai az UAS használatára vonatkozóan, amelyek a légtér- vagy repülésbiztonsági szempontok miatt merültek fel. Hazánk szabályozásához hasonlóan az USA-ban is különbséget kell tenni az állami és a polgári (magán-) drónok használata között. A polgári UAS-műveleteknek ugyanazoknak a törvényi feltételeknek kell megfelelniük, mint az állami pilóta nélküli repülőgép-üzemeltetésnek. Minden olyan művelet, amely nem felel meg az állami légitársaság-üzemeltetési kritériumoknak, polgári műveletnek minősül. A polgári UAS-műveletek hobbi vagy kereskedelmi jellegűek lehetnek.

Pilóta nélküli állami légitársaság-kategóriába tartoznak azok a légi járművek, amelyeket kizárólag az Egyesült Államok Kormánya, vagy egy amerikai állam kormánya, vagy Columbia körzet, vagy törzsi kormányok üzemeltetésébe tartoznak, és kormányzati funkciókat látnak el. Az általános, összes államra kiterjedő szabályokat a FAA határozza meg, azonban az egyes államok és a helyi önkormányzatok korlátozásokat vezethetnek be az UAS fel- és leszállására.

A hobbi kategóriába tartozó pilóta nélküli légi járművekre a következő alapvető szabályok vonatkoznak:

- az eszközök kizárólagosan hobbi célokra használhatók;
- a távoli pilóta legalább 16 éves legyen;
- az eszköz maximális felszálló tömege nem haladhatja meg az 55 fontot (25 kg-ot);
- a FAA együttműködésével megalkotott közösségi szabályok és biztonsági irányelvek betartásával lehet repülést végrehajtani;

<sup>8</sup> National Airspace System.

- az UAV-t a légi jármű irányítója csupán látótávolságon belül (VLOS<sup>9</sup>) üzemeltetheti;
- más légi jármű (repülőgép) közlekedését nem akadályozhatja;
- kizárólag a felszíntől legfeljebb 400 láb (120 m) magasságig lehet műveletet végrehajtani G osztályú légtérben. B, C, D vagy E osztályú légterekben a légtér üzemeltetőjének előzetes engedélyével lehet berepülést végrehajtani a légtér minden korlátozásának és tilalmának szigorú betartása mellett;
- UAS üzemeltetője csak az lehet, aki rendelkezik légi közlekedési ismeretekkel és biztonsági vizsgával, valamint
- elengedhetetlen az UAS regisztrációja és a jelölés feltüntetése az eszközön.

A felsoroltakon túl az UAS-műveletnek meg kell felelnie a kereskedelmi üzemeltetéssel kapcsolatos szabályoknak is, valamint a FAA és a Repülési Modell Akadémia által kidolgozott, az UAS hobbi üzemeltetési kategóriával kapcsolatos biztonsági kézikönyvnek.

Kereskedelmi műveletekkel kapcsolatosan a FAA 2016-ban véglegesítette a működési leírásokat és a szabályozást. Ebbe a kategóriába tartozó úgynevezett small UAS (sUAS) maximális felszálló tömege rakománnyal együtt nem haladhatja meg a 25 kg-ot, ugyanakkor az e kategóriába tartozó UAS esetében, ha az összes követelménynek megfelel, nincs szüksége külön engedélyre. A következő feltételeknek kell teljesülniük:

- a pilóta nélküli légi jármű maximális felszálló tömege nem haladhatja meg az 55 fontot (25 kg);
- csak látótávolságon belül (VLOS) reptethető, a távvezérlő pilótának (PIC<sup>10</sup>) és az sUAS-irányítónak is VLOS-ban kell maradnia, szabad szemmel kell látnia az eszközt;
- a távvezérlő pilótájának tanúsítvánnyal kell rendelkeznie;
- az UAV-t nem üzemeltetheti olyan személy, aki nem vesz részt közvetlenül a műveletben, nem tartózkodhatnak fedett épületben, járműben;
- más repülőgépeknek elsőbbséget kell adniuk;
- a maximális repülési sebessége az UAV-nak nem haladhatja meg a 100 mph (160 km/h);
- a maximális repülési magasság a földfelszín felett maximum 400 láb (120 m);
- B, C, D és E osztályú légtérbe való berepüléshez ATC-engedély szükséges, G osztályú légtérben való repüléshez nincs szükség engedélyre;
- tilos mozgó járműről irányítani az UAS-műveletet, kivéve ha a művelet ritkán lakott területen történik;
- veszélyes anyagokat nem lehet szállítani;
- a felsorolt követelményektől való eltérés a FAA engedélyével lehetséges, annak az igazolásával, hogy a várható művelet biztonságos;
- a műveletet egy állam határain belül kell végrehajtani.

A fent leírtak alapján van lehetőség az Egyesült Államokban kereskedelmi célú UAS-műveletek végrehajtására. Amennyiben a drón tömege meghaladja az 55 fontot, csupán kutatási és fejlesztési célokra alkalmazható abban az esetben, ha az üzemeltető speciális repülési alkalmassági bizonyítványt kér.

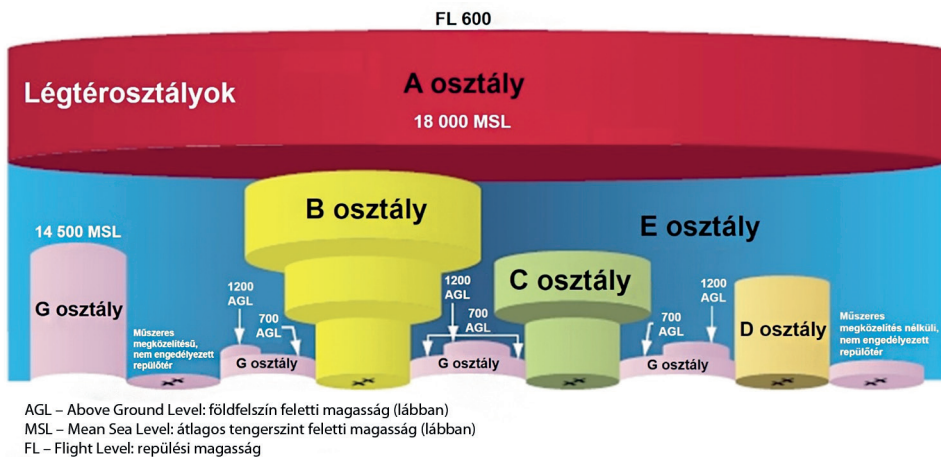
<sup>9</sup> Visual Line of Sight.

<sup>10</sup> Pilot in Command.

Az 55 fontnál (25 kg) kisebb tömegű UAS-tulajdonosoknak regisztrálniuk kell a drónjukat a FAA által üzemeltetett sUAS-nyilvántartásba, hogy műveletet tudjanak végrehajtani a NAS-ban. Ugyanakkor a hobbi- és a kereskedelmi kategóriájú drónokat nem kötelesek a tulajdonosok regisztrálni a nyilvántartásba, azonban kapnak egy regisztrációs számot, amely az összes hobbi UAS-ra vonatkozik [26].

Jól látható, hogy a magyar és az amerikai drónszabályozás számos hasonlóságot mutat. Az USA drónműveletek területén igazi nagyhatalomnak számít, világszínvonalon itt használják a legtöbb drónt már évek óta, a jelentős gyakorlati tapasztalat alapján kidolgozott szabályozást minden állam előszeretettel figyelembe veszi saját rendelkezései megalkotása során.

Az amerikai légtér az 5. ábrán látható módon hat osztályra van felosztva, az azokban való repülésre különböző szabályok vonatkoznak. A FAA által kidolgozott légtérszabályok alapján A, B, C, D, E és G osztályokra lett felosztva Amerika légtere. Pilóta nélküli légi jármű számára A osztályú légtérbe való berepülés bizonyos helyeken csupán akkor lehetséges, ha a FAA egy folyosót alakít ki, amely biztosítja az áthaladást egy különleges tevékenységek számára kijelölt légtérbe. Ebben a folyosóban egy időben egyszerre csak egy repülőeszköz tartózkodhat. A közforgalmú repülőtereken vagy repülőterek közelében B, C és D osztályú légterekben a Polgári Légügyi Hivatal által engedélyezhető a pilóta nélküli légi járművek berepülése [22].



5. ábra  
NAS-légtérosztályok (szerkesztette a szerző [32] alapján)

### 4.3. Egyesült Királyság

Az Egyesült Királyság pilóta nélküli légi jármű szabályai hasonlóak az uniós szabályozáshoz, az angol szabályozás mellett alkalmazzák az Európai Unió publikációiban röviden ismertetett rendeleteit. A Brit Légügyi Hatóság által kiadott légügyi irányelvek iránymutatást adnak a pilóta nélküli légi járművek használatával kapcsolatban. 2016-ban jelent meg a légi navigációs rendelet (ANO<sup>11</sup>), amely elsődleges nemzeti szabályozás az Egyesült Királyságban. A 20 kg-nál

<sup>11</sup> Air Navigation Order.

nagyobb tömegű drónoknak az ANO összes rendelkezésének meg kell felelnie. A 20 kg vagy annál kisebb tömegű drónok üzemeltetői részben mentesülnek az ANO rendelkezései alól, azonban a biztonságos repülés szabályait minden esetben kötelesek betartani. A drónkategóriák meghatározása az uniós szabályokéhoz hasonló. A nyílt kategóriába sorolt pilóta nélküli légi járművekről elmondhatjuk, hogy a távpilóta köteles a legnagyobb gondossággal eljárni a repülés során, és cselekménye nem veszélyeztetheti a repülésbiztonságot, nem keresztezheti más légi jármű repülését, nem veszélyeztetheti mások személyét és vagyonát. Az üzemeltetőnek be kell töltenie a 18. életévét, valamint szükséges regisztráltatnia magát. 250 g-nál kisebb tömegű drón játéknak minősül, esetében nincs életkori kikötés és regisztrációs kötelezettség. Korlátozott légtérben nincs lehetőség berepülés engedélyezésére. Az UAS üzemeltetőjének tisztában kell lennie azzal, hogy felelősséggel tartozik az általa okozott károkért, be kell tartania az ANO összes rendelkezését. Az Egyesült Királyságban jelenleg hatályban lévő nyílt kategória szabályozás 2022. december 31-ig van érvényben. Az uniós szabályokhoz hasonlóan a nyílt kategóriába az A1, A2 és A3 kategóriájú drónok tartoznak. A nyílt kategóriában való repülés alapvető követelményei a következők:

- az UAS üzemeltetőjének el kell végeznie egy online tanfolyamot, és rendelkeznie kell alkalmassági igazolvánnyal, regisztrálnia kell magát UAS-operátornak, valamint meg kell jelenítenie operátor igazolványának számát az UAS-on;
- az üzemeltető minden esetben felelős az UAS biztonságos repüléséért;
- az UAS-t repülés közben látótávolságon belül kell tartani, biztosítva azt, hogy nem ütközik össze más légi járművel, nem jelenthet veszélyt semmire és senkire;
- a földfelszíntől számított 120 m-nél magasabbra nem lehet a drónt reptetni;
- korlátozott légtérben engedély nélkül nem lehet repülni;
- az UAS tömege nem haladhatja meg a 20 kg-ot.

Az A1 kategóriába tartozó pilóta nélküli légi jármű 250–500 g tömegű lehet. Ezen kategóriába tartozó drón tulajdonosa a fent felsoroltak mellett a következő szabályokat köteles még betartani:

- a drónt repülése során látótávolságon belül kell tartani;
- a földfelszíntől maximum 120 m (400 láb) magasságig repülhet;
- lehet reptetni emberek felett, megközelíthet embertömeget;
- nem szállíthat veszélyes árut, és nem szórhat le semmilyen anyagot;
- a drón üzemeltetője köteles megismerni a felhasználói kézikönyvet;
- üzemeltetőként kell regisztráltatnia magát;
- DMARES<sup>12</sup>-képzés elvégzése, sikeres vizsga teljesítése;
- az üzemeltetőnek rendelkeznie kell A1 kategóriára érvényes alkalmassági bizonyítvánnyal.

Az Egyesült Királyságban az A1 kategóriába tartozó pilóta nélküli légi járművek üzemeltetése során a felsorolt szabályok betartása elengedhetetlen. Amennyiben az üzemeltető ezeket a szabályokat nem tartja be, szabályszegést követ el, és bírsággal sújtható. Ezen kategóriába tartozik például a Mavic Air – 430 g vagy a Proflight X18 – 340 g.

<sup>12</sup> The CAA Drone and Model Aircraft Registration and Education Scheme.

Az A1 kategóriával kapcsolatos rögzített szabályok A2 kategóriában annyiban módosulnak, hogy azok a pilóta nélküli légi járművek tartoznak ebbe a kategóriába, amelyek maximális felszálló tömege nem haladja meg a 2 kg-ot, valamint az üzemeltetőnek rendelkeznie kell A2 kategóriára érvényes alkalmassági bizonyítvánnyal. Továbbá ezen kategóriába tartozó drónnal meg lehet közelíteni az embereket.

A3 kategóriába tartozó pilóta nélküli légi járművek az előzőekhez képest annyiban módosulnak, hogy a légi jármű tömege 25 kg-nál nem lehet nagyobb, valamint ezen kategóriájú drónt emberektől biztonságos távolságra kell reptetni [38].

Az ismertetett nemzetközi szabályok a pilóta nélküli légi járművekkel kapcsolatosan jól mutatják, hogy a világ nagyhatalmai relatíve hasonló szabályokat alkotnak, ezzel is garantálva, hogy a repülésbiztonság világszerte egységes és elsődleges szempontot jelent.

## 5. Következtetés

A tudomány és technika fejlődése ma ott tart, amiről pár évtizede álmodni sem mertünk; nemhogy okostelefonunk, még mobiltelefonunk se nagyon volt 20 évvel ezelőtt. Ma pedig a legtermészetesebb, és a mindennapjaink része. Gyermekeinknek teljesen természetes, hogy kezelik az érintőképernyős eszközöket, míg a nagymama maradt a nyomógombos telefontól. Sajnos a mostani korlátozott világunkban a repülés csodája nem lehet része, vagy csak ritka esetben, az életünknek. Ha nem repülhetünk, akkor reptessünk, éljük meg a magasból más-képpen a csodákat, a tájak szépségét és változatosságát. Sajnos ma ez sem egyszerű feladat. A pilóta nélküli polgári légi járművek használata jelentős mértékben korlátozva lett, aminek alapvető indoka a légtér és repülés biztonságának a fenntartása.

A pilóta nélküli polgári és állami légi járművekkel kapcsolatos szabályozások jelentős változásokon estek át, aminek oka, hogy világszerte relatíve egységes szabályozásra van szükség. A 2021-ben kiadott jogszabályokkal a jogalkotó behozta a lemaradását a szabályozási kérdésekben. Azt megállapíthatjuk, hogy az új magyar drónszabályozás szigorú feltételekhez köti a drónok használatát a pusztán kedvtelési célból drónt használók számára is, az uniós szabályozás alkalmazásával azonban a jelenlegihez képest egy sokkal szabadabb rendszer vált lehetővé a földfelszíntől számított 120 m-es magasságig, illetve a szükséges engedély megléte esetén olyan korlátozott légterekben is biztosítottá vált a „drónozás”, ahol korábban nem volt megengedett.

A két, pilóta nélküli polgári légi járművekkel összefüggő uniós rendelet 2020. év végétől teljes egészében kötelező és közvetlenül alkalmazandó a tagállamokban. Külön említést érdemel, hogy a tagállami szabályok megalkotása nélkül 120 m-ig „mindenhol” megjelenhettek volna a civil drónfelhasználók, komoly repülésbiztonsági kockázatot okozva ezzel, továbbá az állami szervek repülései (például katasztrófavédelmi, rendvédelmi, bűnüldözési feladatok) nem lettek volna az egyes No Drone Zone-okban zavartalanul biztosíthatók. A jogharmonizációs feladatok végrehajtását követően lehetővé vált a pilóta nélküli polgári légi járművek számára egy új, innovatív környezetben való üzemeltetés. Arra azonban, hogy az új szabályozás mennyire tud lépést tartani az információs technológia fejlődésével és a társadalmi elvárásokkal, a gyakorlat adhat majd választ.

## Felhasznált irodalom

- [1] 141/1995. (XI. 30.) Korm. rendelet a légiközlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény végrehajtásáról. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99500141.kor>
- [2] 1967. évi 41. törvényerejű rendelet a „Szerződés az államok tevékenységét szabályozó elvekről a világtűr kutatása és felhasználása terén, beleértve a Holdat és más égitesteket” című, Moszkvában, Londonban és Washingtonban 1967. január 27-én aláírt szerződés kihirdetéséről 1. cikk. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=96700041.tvr>
- [3] 1971. évi 25. törvényerejű rendelet a nemzetközi polgári repülésről Chicagóban, az 1944. évi december hó 7. napján aláírt Egyezmény és az annak módosításáról szóló jegyzőkönyvek kihirdetéséről, 1. és 2. cikk. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=97100025.tvr>
- [4] 1995. évi XCVII. törvény a légiközlekedésről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?-docid=99500097.tv>
- [5] 26/2007. (III. 1.) GKM-HM-KvVM együttes rendelet a magyar légtér légiközlekedés céljára történő kijelöléséről 24. §. 11., 12., 12a., 27., 29. pontjai. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700026.gkm>
- [6] 3/2006. (II. 2.) HM rendelet az állami repülések céljára kijelölt légterekben végrehajtott repülések szabályairól. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0600003.hm>
- [7] 38/2021. (II. 2.) Korm. rendelet a pilóta nélküli állami légi járművek repüléséről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2100038.kor>
- [8] 382/2016. (XII. 2.) Korm. rendelet a közlekedési igazgatási feladatokkal összefüggő hatósági feladatokat ellátó szervek kijelöléséről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1600382.kor>
- [9] 39/2021. (II. 2.) Korm. rendelet az egyes légiközlekedési tárgyú kormányrendeletek módosításáról. Online: <https://njt.hu/jogszabaly/2021-39-20-22>
- [10] 392/2016. (XII. 5.) Korm. rendelet a katonai légügyi hatóság kijelöléséről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1600392.kor>
- [11] 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet a magyar légtér igénybeviteléről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99800004.kor>
- [12] 56/2016. (XII. 22.) NFM rendelet a Magyarország légtérében és repülőterein történő repülések végrehajtásának szabályairól. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1600056.nfm>
- [13] 7/2009. (VI. 11.) HM rendelet a Magyar Honvédség légvédelmi készenléti repüléseiről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0900007.hm>
- [14] A Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete (2019. március 12.) a pilóta nélküli légi jármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légi jármű-rendszerek harmadik országbeli üzembentartóiról
- [15] A Bizottság (EU) 2019/947 végrehajtási rendelete (2019. május 24.) a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról 3–6. cikk
- [16] Békési B., Major G., „A drónok konfigurációi, alkalmazási területei,” in *Műszaki tudomány az északkelet-magyarországi régióban 2022: Konferenciakiadvány*. Nyíregyháza, 2022. 06. 02. (Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet, Magyar Tudományos Akadémia [MTA] Debreceni Területi Bizottság [DAB] Műszaki Szakbizottsága), Páy G. szerk. Nyíregyháza, Magyarország: Nyíregyházi Egyetem, 2022, pp. 301–307. Online: [www.nye.hu/sites/default/files/u5/KFI/Acta7.pdf](http://www.nye.hu/sites/default/files/u5/KFI/Acta7.pdf)

- [17] Bódy G., *Vége az össze-vissza drónozás korszakának*. Online: <https://novekedes.hu/interju/vege-az-ossze-vissza-dronozas-korszakanak>
- [18] Angyal Z., *Légi közlekedési jog az Európai Unióban*. Budapest, HVG Orac, 2011.
- [19] Gyurkovics S., *Közlekedéspolitika és közlekedésigazgatás jegyzet*. Budapest, 2020.
- [20] Moys P., *Nemzetközi Légijog*. Budapest, 2006.
- [21] Gajdács L., Major G., „Katonai célú drónfejlesztések a jelenkorban, a jövőt vizionálva,” in *Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből III*. Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó, 2022. pp. 101–120. Online: [https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/static/pdfs/web/viewer.html?file=https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/18399/Szemelvények\\_a\\_katonai\\_muszaki\\_tudomanyok\\_eredmenyeibol\\_III.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/static/pdfs/web/viewer.html?file=https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/18399/Szemelvények_a_katonai_muszaki_tudomanyok_eredmenyeibol_III.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [22] Halászné dr. Tóth A., „A pilóta nélküli légi járművek repülésének jogi szabályozása,” in *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Palik M. szerk. Budapest, Nemzeti Közszerzői Egyetem, 2013. pp. 187–188.
- [23] ICAO Circular 328. International Civil Aviation Organization, 2011. pp. 1–38. Online: [www.icao.int/meetings/uas/documents/circular%20328\\_en.pdf](http://www.icao.int/meetings/uas/documents/circular%20328_en.pdf)
- [24] International Civil Aviation Organization, About ICAO. Online: [www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx](http://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx)
- [25] Közlekedési Hatóság, Légügyi szakterület. Online: [www.kozlekedesihatosag.kormany.hu/hu/web/legugyi-szakterulet](http://www.kozlekedesihatosag.kormany.hu/hu/web/legugyi-szakterulet)
- [26] L. Pierallini, F. Grassetto, F. P. Ballirano, *Drone Regulation 2020*. London, Studion Pierallini, 2019. november.
- [27] Légtér.hu, *Drón törvény 2021 – érthetően szakértőktől*. Online: <https://legter.hu/blog/dron-torveny-2021-erthetoen-szakertoktol>
- [28] Major G., „A pilóta nélküli légi jármű rendszerek (UAS) nemzetbiztonsági célú felhasználásának lehetőségei, technikai korlátai és alkalmazásának etikai kérdései,” doktori (PhD) értekezés, Budapest, Nemzeti Közszerzői Egyetem, 2023.
- [29] Major G., Ujjady A., „A civil drónszabályozáson innen, a katonain túl,” *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 2. sz. pp. 167–180. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.2.12>
- [30] Major G., „Ésszerű szabályozás vagy tiltás, avagy mit lehet kezdeni a drónokkal?,” in *Repüléstudományi Közlemények*, 27. évf. 1. sz. pp. 167–176. 2015. Online: [www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015\\_1/2015-1-15-0218-Major\\_Gabor.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_1/2015-1-15-0218-Major_Gabor.pdf)
- [31] MÚLT-KOR, *Sokan eleinte a gonosz művének vélték a Montgolfier fivérek hőlégballon-kísérleteit*. Online: <https://mult-kor.hu/sokan-eleinte-a-gonosz-muvenek-veltek-a-montgolfier-fiverek-holegballon-kiserleteit-20200626>
- [32] P. Volk, *A Peek into the Future; Large UAS in the National Airspace System*. Online: [www.flyhpa.com/2017/09/a-peek-into-the-future-large-uas-in-the-national-airspace-system/](http://www.flyhpa.com/2017/09/a-peek-into-the-future-large-uas-in-the-national-airspace-system/)
- [33] Rottler V., „A drónhasználat jogi szabályozásának nemzetközi trendjei és hazai helyzete,” *Magyar Rendészet*, 18. évf. 4. sz. pp. 151–171. 2018. Online: <https://doi.org/10.32577/mr.2018.4.9>
- [34] Sipos A., „Szabályok három dimenzióban,” in *Nemzetközi légijog*. Budapest, Wolters Kluwer, 2015.
- [35] Sipos A., *A nemzetközi polgári repülés joga*. Budapest, ELTE Eötvös, 2018.

- [36] Sipos A., „A polgári légi jármű jogi státusza,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 3. sz. pp. 273–300. 2017. Online: [www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017\\_3/2017-3-21-0439\\_Sipos\\_Attila.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-21-0439_Sipos_Attila.pdf)
- [37] Tarján M. T., „A Montgolfier-testvérek első nyilvános léggömbkísérlete,” *RUBICONonline*. Online: [www.rubicon.hu/magyar/oldalak/1783\\_junius\\_4\\_a\\_montgolfier\\_testverek\\_elo\\_nyilvanos\\_leggombkiserlete/](http://www.rubicon.hu/magyar/oldalak/1783_junius_4_a_montgolfier_testverek_elo_nyilvanos_leggombkiserlete/) 2021.05.11.
- [38] UK CAA, *Introduction to Drone Flying and the UK Rules*. Online: [www.caa.co.uk/drones/rules-and-categories-of-drone-flying/introduction-to-drone-flying-and-the-uk-rules/](http://www.caa.co.uk/drones/rules-and-categories-of-drone-flying/introduction-to-drone-flying-and-the-uk-rules/)

---

## ***A Look at the World of International Drone Regulation***

*The development of unmanned aviation worldwide is on a massive scale. The number of reported flights now equals the number of flights by manned aircraft, and the trend is increasing. These flights should have some kind of time frame so that everyone can reach their destination safely. This requires a regulatory framework, both at international and domestic level, in which the aerospace industry can flourish as effectively as possible. In this publication, the author describes how this drone legislation has been envisioned in international law.*

**Keywords:** *drone, drone regulation, international rules, unmanned aerial vehicle*

---

Dr. Kardos Krisztina  
bírószági titkár  
Szolnoki Törvényszék  
[kardoskriszti84@gmail.com](mailto:kardoskriszti84@gmail.com)  
[orcid.org/0009-0009-0726-9268](https://orcid.org/0009-0009-0726-9268)

---

Krisztina Kardos, LLD  
Court Secretary  
Szolnok Regional Court  
[kardoskriszti84@gmail.com](mailto:kardoskriszti84@gmail.com)  
[orcid.org/0009-0009-0726-9268](https://orcid.org/0009-0009-0726-9268)

---

Tímea Vas, Krisztián Károly, Szabolcs Zsembery,  
Gábor Horváth

## Comprehensive Study of Military and Civil Drone Applications: Assessing Key Areas of Significance and Future Prospects

*This study aims to provide a comprehensive overview of unmanned aircraft systems (UAS) encompassing both civilian and military application in contemporary operations, emphasising their potential impact on future advancements. Through an in-depth analysis, we examine the current state-of-the-art UAS technologies, their applications, and evaluate their efficiency in various sectors. Furthermore, this research offers insights into the potential trajectories and challenges that may arise as drone technology continues to evolve and integrate into our daily lives.*

**Keywords:** Nagorno-Karabakh, Ukraine-Russia, unmanned aircraft system, loitering ammunition, dual use

### 1. Introduction

Unmanned Aircraft Systems (UAS) have gained substantial popularity in both civil and military domains owing to their remarkable versatility and operational efficiency. As the demand for UAS continues to surge, it is imperative for stakeholders to remain abreast of the latest advancements and research in this burgeoning field. Notably, the scientific community has exhibited significant interest in UAS, as evidenced by a plethora of review papers and books scrutinising various facets of UAS development and research across diverse applications [1]. These applications serve as linchpins in propelling the progress of both civil and military UAS technology and represent pivotal subjects of inquiry for researchers and practitioners alike.

Given the expansive scope of UAS research and the diverse subdomains within this multifaceted discipline, coupled with substantial investments, a cadre of critical research inquiries has emerged. Central among these is the inherently interdisciplinary nature of UAS research [2], which amalgamates aerospace engineering, computer science, robotics, and remote sensing. Profoundly comprehending the synergies among these disciplines and devising effective collaborative strategies through precise categorisation and application analysis stand as paramount imperatives for the advancement of UAS technology. Addressing these challenges and cultivating solutions holds the potential to optimise the seamless integration of UAS into our professional environment. This integration presents opportunities across

a numerous sector, including military operations, agriculture, environmental monitoring, disaster response, surveillance, and infrastructure inspection, to name a few [3].

Recognising the urgency of grappling with these research inquiries, particularly within the UAS research community, it is incumbent upon us to furnish a comprehensive guide that navigates the expansive terrain of UAS research. By synthesising latest findings and insights drawn from diverse applications, our aspiration is to furnish a substantive resource for scholars and practitioners engaged in this dynamic field. Through collaborative endeavours and the dissemination of knowledge, we collectively endeavour to propel UAS technology forward, unlocking its full potential across a broad spectrum of applications, thereby contributing to the advancement of both civil and military objectives in the ever-evolving landscape of unmanned aerial systems.

## 2. Military area of use

Experts, who study the specificities of the drone's military use, have taken different approaches to this issue. Is the emergence of drones on the battlefield as revolutionary as the use of missiles was during World War II? Can drones decide the outcome of the war or not? It is a fact that these flying machines are having become a standard "weapon" regulated in almost all countries. Terms like "revolutionary", "pioneering", "earth-shattering", "decisive" are often used to describe drones, but they remain slogans until their role in combat becomes *game-changer*. There are numbers of advantages, such as the strikes accuracy, the ability to keep soldiers away from "hot spots", the ability to detect what is happening on the ground. Even NGOs (non-governmental organisations) gain benefit of drones during their missions. UASs make war easier and more bearable for soldiers, and make war cheaper and more effective for the government, meanwhile provide the ability to act independently [4].

The revolutionary role of drones can also be seen in how, along with their deployment, strategic thinking is transformed, how military doctrines change along with it, and how the military of a country undergoes an organisational transformation with the acquisition and deployment of drones.

Countries who were the leaders of drone proliferation and owning requisite expertise with "infinite resources" had taken into account the following five views at the field of drone use cases, which influences *the directives of development*:

- be capable for carrying weapons;
- be able to carry out precise strikes;
- be applicable over war- and no war zones;
- be applicable not only in armed strikes, but also in military intelligence;
- be able for autonomous operation and at the same time for long-distance remote controlling outside the area of operations [5].

*The core capabilities of military drones are:*

- intelligence;
- surveillance;
- target acquisition;
- reconnaissance.

The list above stands for ISTAR<sup>1</sup> for short. Why do we need these capabilities? To collect, analyse, and share information with maximum effects in order to provide decision-makers and actors in the AO<sup>2</sup> with better situational awareness to operate effectively. Commanders at all levels must see first and understand the battlespace so that they could act quickly and decisively. It is used for both defensive and offensive operations [6].

Table 1.  
*Categorisation of drones by levels of military operations [7]*

Level	Tactical		Operational	Strategical
Forces	Task Unit	Task Group	SOCC	Joint
UAS Category	Micro/Mini UAS	Mini UAS	Tactical UAS	MALE <sup>3</sup> /HALE <sup>4</sup> UAS
UAS Flight Time	30-60 minutes	Up to 6-9 hours	12-24 hours	24+ hours

As Table 1 shows, drones are categorised based on their suitability for various levels of military operations, ranging from tactical to strategic. Micro/Mini UASs are typically deployed at the tactical level, offering short flight times of 30-60 minutes, ideal for task unit operations. Mini UASs and Tactical UASs extend operational capabilities, with flight times of up to 6-9 hours, suitable for task group assignments. Moving into the operational level, MALE and HALE UASs provide extended flight durations ranging from 12 to over 24 hours, enabling sustained reconnaissance and surveillance missions within a theatre of operations. Finally, at the strategic level, UASs with flight times exceeding 24 hours serve the needs of Special Operations Command (SOCC) and Joint Forces, offering persistent surveillance and intelligence gathering capabilities essential for strategic planning and decision-making.

Table 2.  
*Categorisation of drones by US Department of Defense UAV classification system standard [8]*

Category	Size	Maximum Gross Take-off Weight (MGTW) (lbs/kg)	Normal Operating Altitude (feet/m)	Airspeed (knots/km/h)
Group 1	Small	0–20/0–9.07	< 1,200 AGL/365.7 (above ground level)	< 100/185.2
Group 2	Medium	21–55/9.53–24.95	< 3,500/1068	< 250/463
Group 3	Large	< 1,320/ 598.74	< 18,000/5486 MSL (mean sea level)	< 250/463
Group 4	Larger	> 1,320/ 598.74	< 18,000/5486 MSL	Any airspeed
Group 5	Largest	> 1,320/ 598.74	> 18,000/5486 MSL	Any airspeed

Table 2 outlines the classification of drones according to the US Department of Defense UAV Classification System Standard. Drones are categorised into five groups based on their size, maximum gross take-off weight, normal operating altitude, and airspeed. Group 1 comprises small drones with MGTW ranging from 0 to 20 pounds, operating at altitudes below 1,200 feet above ground level and speeds below 100 knots. Medium-sized drones fall into Group 2, with MGTW between 21 and 55 pounds, operating at altitudes below 3,500 feet and speeds below

<sup>1</sup> Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, Reconnaissance.

<sup>2</sup> Area of Operation.

<sup>3</sup> Medium-altitude long-endurance.

<sup>4</sup> High-altitude long-endurance.

250 knots. Group 3 includes large drones with MGTW less than 1,320 pounds, operating at altitudes below 18,000 feet mean sea level and speeds below 250 knots. Groups 4 and 5 encompass larger and largest drones, respectively, with MGTW exceeding 1,320 pounds and capable of operating at altitudes exceeding 18,000 feet MSL, with no specified airspeed limitations.

Table 3.  
NATO UAV classification [9]

CLASS	Category	Normal employment	Normal Operating Altitude	Normal Mission Radius	Primary Supported Commander	Example Platform
Class I (less than 150 kg)	SMALL > 20 kg	Tactical Unit (employs launch system)	Up to 5K feet AGL	50 km (LOS – line of sight)	Battalion, Regiment	Luna, Hermes 90
	MINI 2–20 kg	Tactical Sub-unit (manual launch)	Up to 3K feet AGL	25 km (LOS)	Company / Squadron	Scan Eagle, Skylark
	MICRO < 2 kg	Tactical PI, Sect, Individual (single operator)	Up to 200 feet AGL	5 km (LOS)	Section	Black Widow
Class II (150 kg to 600 kg)	TACTICAL	Tactical Formation	Up to 10,000 feet AGL	200 km (LOS)	Brigade	Hermes 450, Aerostar
Class III (more than 600 kg)	Strike/ combat	Strategic / National	Up to 65,000 feet	Unlimited (BLOS – beyond line of sight)	Theatre COM	
	HALE	Strategic / National	Up to 65,000 feet	Unlimited (BLOS)	Theatre COM	Global Hawk
	MALE	Operational / Theatre	Up to 45,000 feet MSL	Unlimited (BLOS)	JTF COM	Predator, Heron, Hermes 900

Table 3 presents the NATO classification system for UAVs, categorising them into three main classes based on weight and intended use. Class I encompasses small UAVs, weighing less than 150 kilograms, subdivided into three categories: Small (> 20 kg), Mini (2–20 kg), and Micro (< 2 kg). These UAVs are primarily employed at the tactical level, with varying altitudes and mission radii depending on their size and capabilities. Class II comprises tactical UAVs weighing between 150 and 600 kilograms utilised for tactical formations with operational altitudes up to 10,000 feet AGL and mission radii of up to 200 kilometres. Class III includes strike/combat UAVs, further classified into HALE and MALE platforms, designed for strategic and operational/theatre-level missions, operating at altitudes up to 65,000 feet and BLOS operations.

## 2.1. Examples for micro, mini, tactical and male/hale UAV's

### 2.1.1. Micro-mini category

The Black Hornet, developed by Prox Dynamics, measures 16.8 cm by 2.5 cm and the rotor diameter 123 mm. It is capable of spending more than 25 minutes airborne and fly 2 km far from the operator's location. It withstands 15 knots/gust 20 knots (7.71 m/s/gust 10.28 m/s) wind and precipitation of 2.5 mm (0.1 in)/hr (Light rain). Its optics are also noteworthy. The resolution of the EO video is 640 × 480, which is not a very high quality, but may be enough to identify certain threats. Its snapshot is a different story, with a resolution of 1600 × 1200 pixel it can provide a quite sharp image on what's happening. I should also mention that the EO camera is able to capture thermal video and snapshots at 160 × 120 resolution. It can be ready and being launched in 30-120 seconds. It distinguishes four operating modes:

- auto and Manual Hover & Stare;
- route and user selectable waypoint actions;
- automatic return in case of LOL<sup>5</sup>.

Next in line in this category is the RQ-11B Raven. It has two different antennas, each has its very own characteristic. Omni antenna transmits within a radius of 5 kilometres in LOS, the Patch antenna, on the other hand, transmits for 10 kilometres, but not in a radius, but 60 degrees forward. The antenna must be pointed towards the current direction of the UAV, otherwise the LOL function will be activated if the operator does not do so, in which case the preset protocol will be automatically executed: "land immediately", Return to Base etc. These assets (micro–mini–small) do not have a large logistical footprint and, therefore, do not produce as much and as high quality results as their counterparts. The larger the logistical footprint of a tool, the more and better quality results it can deliver at the current level of our technical development. Small asset + small camera = small resolution = poorer results. The dangers of this are that you have to sacrifice safety for results. You have to fly closer over the target area to get a result, risking the possibility of detection. The Short-range UAV (SUAV) itself is not very big, weighing around two kilograms, with a wingspan of 1.4 metres and a length of just 0.9 metres. Its battery provides 60–90 minutes of flight time. The aerial vehicle has a minimum operating altitude of 30–150 metres AGL and a maximum of approximately 4000 metres MSL. The payload is a gimballed camera called Mantis i23. It has two modes. There is a dual 5 MP EO/IR + LWIR (improved long-wave infrared) for night and a dual 18 MP EO (Electro-optical) for daylight.

It distinguishes five operating modes:

- altitude;
- manual;
- navigation;
- home;
- loiter.

<sup>5</sup> Loss of Link.

The NX 70 Novadem drone is a versatile and reliable unmanned aerial vehicle designed to support a wide variety of commercial and industrial operations. The UAV measures 51 cm long, 51 cm wide, and 13 cm high. Maximum take-off weight is 1 kg. Its standard range is about 1 km, the maximum range is 5 km and the flight time is up to 45 minutes. It is equipped with a high-resolution bi-spectral ultra-high resolution electro-optical day and thermal camera, as well as an obstacle avoidance system and advanced navigation features that allow autonomous flight in any environment. Durable and lightweight construction is ideal for long-range missions, while its modular design allows easy customisation to meet specific mission requirements. Its advanced flight control system and intuitive user interface provide pilots with the tools they need to perform their tasks with precision and accuracy. The NX 70 Novadem micro quadcopter drone is an excellent choice for anyone looking for a reliable and high-performance UAV. Please, note that the micro UAV can lift and drop different devices, such as a medical kit, smoke grenade and jammers, making it the only multi-role micro-drone available for defence applications.

### 2.1.2. Mini UAS category

Skylark I-LEX (Mini-UAS) is a small, lightweight drone developed by Elbit Systems for tactical intelligence, surveillance and reconnaissance missions. It has a low acoustic signature and can be operated autonomously or remotely. Its small size and low weight make it ideal for missions in urban environments, where it can provide real-time intelligence on enemy movements. The drone can be equipped with various sensors, including an electro-optical payload, which provides high-resolution imagery and video. It also has a GPS navigation system and an advanced communications system for secure data transmission. The Skylark I-LEX with its 3 hours flight time and a range of a 40 km is a reliable and versatile drone used for a variety of military applications. Maximum payload of this asset is 1.2 kg, its wingspan is 3 m, the take-off weight is 7.5 kg, and the service ceiling is 4.5 km. Launch method is a bungee assisted hand-launch or the use of a portable mini launcher. The recovery method is a deep stall manoeuvre on an inflatable airbag.

The Skylark 3 (see Figure 1) field deployed tactical ISTAR UAS has high resolution, gimballed and stabilised dual EO/IR payload facilitate a wide-range of applications, including:

- over-the-hill intelligence;
- force and convoy protection;
- strategic infrastructure protection;
- border patrol;
- security operations.

The platform is fully autonomous from take-off to landing and is designed for mission-oriented operation that does not require any piloting skills. The Skylark 3 drone, developed by Elbit Systems, is a small, lightweight, and versatile tactical UAV. It has a range of 100 km and can fly for 6 hours. The Skylark 3 is equipped with a wide range of sensors and payloads, including

electro-optical, infrared, laser designator and communications relay. It is designed for use in battlefield reconnaissance; surveillance, target acquisition, and communications relay missions. It can be launched from a catapult launcher, and can be operated autonomously or manually. The Skylark 3 is highly reliable and has been used by the military forces of several countries including the Hungarian Defence Forces as well [10].



Figure 1.  
Portrayed Unmanned Aircraft Systems (left: Skylark 3, right: Puma AE RQ-20B) [30], [31]

Another *Aerovironment* product at an even higher level is the Puma AE RQ-20B (see Figure 1). Can be launched manually or from a rail (catapult). Its payload is gimbaled, capable of 360-degree continuous pan, +10 to -90 degrees tilt, stabilised EO and IR camera. All in one modular illuminator payload that is much more efficient than the previous payload versions. Its operating altitude is 500 feet (152 m) AGL.

### 2.1.3. Tactical UAS

Watchkeeper (see Figure 2), which has been in service since 2014 and still operates, is a British-made UAV, although Thales and Israel's Elbit developed it. The device sought to fuse all of the useful UAV capabilities found in the current and future technology platforms, so it received an advanced sensor package that transmitted the reconnaissance data directly to the combat command; both the weapon system and the ground mobile station customers received it. From the beginning of the development, the Watchkeeper was beset by difficulties, the first test flights were carried out between 2008 and 2010, but unfortunately, by then most of its advantageous characteristics were not considered technological innovations, because it did not exceed the capabilities of the Hermes 450, so hiring it was a better solution. While the Hermes 450 had electro-optical and infrared detection capabilities, the Watchkeeper was equipped with a modular multisensory system and synthetic aperture radar, and since its autonomous systems were more advanced than the Israeli type, it could be operated not only by pilots but also by soldiers trained for the task. Among its advantages are that it is mobile, easy to install, relatively easy to transport as it is stored in containers that meet international standards, and the British Army plans to keep it in service for 30 years.



Figure 2  
Portrayed Unmanned Aircraft Systems (left: Watchkeeper, right: Scan Eagle) [32], [33]

The ScanEagle (see Figure 2) developed by Insitu, boasts a compact design and long endurance, making it ideal for intelligence, surveillance, and reconnaissance missions. With a wingspan of 3.11 metres and a maximum take-off weight of 22 kilograms, it can stay airborne for up to 24 hours, transmitting real-time video and imagery. Launched via a pneumatic catapult and recovered using a skyhook system, it eliminates the need for a runway, enhancing its versatility for various environments, including maritime operations. Equipped with advanced cameras and sensors, the ScanEagle serves military, scientific, and commercial purposes effectively.

The RQ-7B Shadow (see Figure 3) is primarily utilised for reconnaissance and surveillance missions. Developed by AAI Corporation, it features a wingspan of 4.27 metres and a maximum take-off weight of approximately 204 kilograms. With a payload capacity of 27 kilograms, it can carry various sensors and cameras for gathering intelligence. The Shadow operates at altitudes up to 8,000 feet and has an endurance of up to nine hours. Deployed by military forces worldwide, it provides real-time situational awareness, enhancing battlefield effectiveness. Its reliability, endurance, and versatility make it a valuable asset for military operation.



Figure 3.  
Portrayed Unmanned Aircraft Systems (left: RQ-7 Shadow, right: Anka S) [34], [35]

The Anka (see Figure 3) is developed by Turkish Aerospace Industries (TAI). Featuring a wingspan of 17.3 metres and a maximum take-off weight of 1,600 kilograms, it operates at altitudes up to 30,000 feet. Powered by a heavy-fuel engine, it achieves speeds of up to 140 knots. Equipped with advanced sensors and communication systems, the Anka provides real-time surveillance and reconnaissance capabilities. With a range exceeding 200 kilometres and an endurance of up to 24 hours, it serves various military and civilian applications with efficiency and reliability.

#### 2.1.4. MALE/HALE UAS

The payload of the UAV encompasses a state-of-the-art electro-optical/infrared (EO/IR) camera, adept at capturing high-resolution imagery and video across diverse weather conditions, including day and night. Additionally, the MALE/HALE UAV is usually equipped with an identification system for distinguishing between friendly and hostile entities (IFF),<sup>6</sup> further augmented by a laser designator and range finder for precise target acquisition and engagement.



Figure 4.

*Portrayed Unmanned Aircraft Systems (left: Bayraktar, right: Heron) [36], [37]*

The Bayraktar TB2 (see Figure 4) is designed and manufactured by Turkey's Baykar. It features a wingspan of 12 metres and a maximum take-off weight of 650 kilograms. Equipped with a Rotax 912 engine, it can fly at speeds up to 130 knots and reach altitudes of 24,000 feet. The drone is capable of carrying various payloads, including electro-optical and infrared cameras, as well as guided munitions. With a range of over 150 kilometres and an endurance of up to 27 hours, the Bayraktar TB2 provides long-range reconnaissance and surveillance capabilities for military and security operations.

The Heron (see Figure 4) is developed by Israel Aerospace Industries (IAI). With a wingspan of 16.6 metres and a maximum take-off weight of 1,270 kilograms, it can operate at altitudes of up to 35,000 feet. Equipped with a Rotax 914 engine, it can reach speeds of 207 kilometres per hour. The Heron is capable of carrying payloads such as electro-optical and infrared sensors, synthetic aperture radar, and signals intelligence systems. With a range of over 2,500 kilometres and an endurance of up to 45 hours, it provides versatile surveillance and reconnaissance capabilities for military and civilian applications.



Figure 5.

*Portrayed Unmanned Aircraft Systems (left: MQ-1 Predator, right: MQ-9 Reaper) [38], [39]*

<sup>6</sup> Identification Friend or Foe.

The RQ-1 was designed for surveillance and reconnaissance missions. The designation was changed to MQ-1 (see Figure 4) in 2002. The "M" is the Department of Defense (DoD) designation for multi-role, and "Q" means remotely piloted aircraft system. The "Q" series has been introduced to designate reusable unmanned aerial vehicles [11].

The "9" indicates that it is the ninth in the series of remotely piloted aircraft systems. As it was mentioned earlier, intelligence, surveillance, targeting, and reconnaissance are their main purposes. However, their capabilities expanded during the years of experience. They are also used for close air support, combat search and rescue, precision strike, buddy-lase, convoy/raid overwatch, route clearance, target development, and terminal air guidance. In summary, it can provide a unique capability to perform Strike, Coordination and Reconnaissance (SCAR) against high-value, fleeting, and time-sensitive targets.

### 3. Significant armed conflicts from the past years

#### 3.1. *Afghanistan*

"Since 2001, the drone has shifted from instrument of training and surveillance to a tool for conducting offensive strikes against enemy targets" [12]. War in Afghanistan provided the ideal territory for asymmetric warfare and resulted coalitional focus on Counter Insurgency (COIN) operations for 20 years. Unmanned Combat Aerial Vehicles (UCAVs) played a significant role in that conflict supporting US and coalition forces alike. This technology have quietly become weapon of choice against terrorism, or any adversary targets. Relatively speaking, the drone-based warfare is low budget and does not risk soldiers' life in eliminating the enemy at a great rate of success, assuming that the enemy is not in possession any form of air defence. If it does, that might be a game-changing factor. In fact, Afghanistan has been the country with the highest number of drone strikes in history since that time, and along with the United States both the British and German forces have been testing the most effective ways to deploy and use drones during this period. Each device that the mentioned nations used were equipped with a GPS, radio, and Bluetooth, transponder to help navigate and communicate. In addition, imaging sensors, cameras for daytime and infrared operation, and synthetic aperture radars for 3D imaging. Signal Intelligence (SIGINT) and Communication Intelligence (COMINT) devices, spectral sensors for sophisticated sound detection, electronic jamming and interception devices, and they were capable of dropping lethal weapons such as missiles and bombs, and non-lethal weapons such as marker paints or nets. The RQ-1/MQ-1 (Predator) is capable of carrying two Hellfire missiles, while the Reaper can carry six different missiles and bombs. That time troops flied mostly the fixed-wing drones, which in most cases required some kind of infrastructure but several ones had manually deployable versions. United States' drone strikes required extensive infrastructure for overseas operations where the distance between the remote station and the drone was more than 10,000 km. The relaying station was installed at Ramstein Air Base, which connected to the transatlantic control station with seabed cables and connected to the remote drone base by wireless contact. Drone strikes over Afghanistan, Pakistan and Yemen, known as target killing missions, have sometimes claimed civilian victims [13].

In the battlefields of ongoing wars, drone operations are not characterised by targeted strikes and gathering of wide-spectrum reconnaissance information, but rather by a show of force and destruction of ground infrastructure. The following statements could summarise what motivates the development of drones most suited to current conflicts:

- the risen significance of the combat micro-environment;
- the importance of visual imaging and data transmission has been appreciated as war is transmitted directly into our living room;
- the battles fought over continental distances became territorial;
- the significance of the payload determines the characteristics of the drone carrier;
- the cheaper devices, the more mobile infrastructure and the more variable network options should utilise.

### 3.2. Second Nagorno-Karabakh War

The war between Armenia and Azerbaijan over the Nagorno-Karabakh began in late September 2020 and ended on 10<sup>th</sup> of November with a Moscow-brokered ceasefire that resulted in the deployment of 2,000 Russian peacekeepers and significant Armenian territorial losses. Clashes were characterised by intense artillery fire, rocket and drone attacks, with Azerbaijan being the eventual winner of the war. Eado Hecht, PhD, a leading researcher and professor at the Begin-Sadat Center for Strategic Studies (BESA), Bar Ilan University, Israel, has asked whether drones are just a new tool for fighting the war or whether their significance is revolutionary and epoch changing [14]. Many accounts of the war have described it as a one-sided interaction of Azeri drones versus Armenian ground forces; with Azeri ground forces figuratively "riding on the backs of drones" to victory with minimal fighting. This was the first modern war primarily decided by unmanned weapons. It was arguably the first postmodern conflict in which unmanned aircraft defeated conventional ground forces, rendering them inert and immobile, opening the way for the Azeri ground forces to move in and seize a strategic point. "Azerbaijani sensors, mostly mounted on UAVs, gave the Azerbaijani military a clear, 24-hour, unblinking view of the battlespace" [15].



Figure 6.  
Portrayed Unmanned Aircraft Systems (HAROP) [40]

Studying of Armenia's air defences, however, shows that its forces were not "formidable", certainly not in terms of drones. The exact quantities of the various missile systems are not available, but they had Strela-10 (SA-13), Osa (SA-8), Kub (SA-6), Krug (SA-4), S-300 and Tor air defences in combination. With the exception of the Tor, all of them were older, less effective. The Tor was the only device that posed threat to the Turkish Bayraktar TB-2 and the Israeli HAROP kamikaze drones. The effective range of Strella-10s and Osa's against targets with size of TB-2 drones was shorter than the range of missiles they carried. The longer-range Kubs, Krugs, and S-300s were optimised against targets that are larger and faster than drones, so the drones were invisible to them. Armenian positions that were camouflaged in the traditional way were still identified by electro-optical and thermal cameras. Intelligence Surveillance and Reconnaissance (ISR) platforms were merged with strike capability in the forms of the TB2 and HAROP. High-definition, full-motion-real-time videos from these platforms provided ISR, destroyed systems and personnel, and provided accurate BDA. Here are the specifics of the Bayraktar TB2UCAV (see Figure 4) and the Loitering ammunition called HAROP (see Figure 6) [16].

### 3.3. East-Ukraine vs. Russia war

This conflict between these countries is one of the best examples of hybrid warfare. "In conceptual terms, we can say that hybrid warfare is a combination of conventional regular (linear, conventional) and irregular (non-linear, non-conventional) warfare in soft, medium and hard methods and procedures, with the aim of destroying the enemy's state, armed forces and impose its will, in particular by strategic objective of ensuring that the level of violence during the conflict does not exceed the level of war" [17]. The outbreak of the war was the result of a series of bad political decisions traced back to the collapse of the Soviet Union and its aftermath. The acquisition of the strategically important Crimean Peninsula – where predominantly Russian population is resident, and at the same time it is the base of Russian naval corps – led to invasion. Under the Treaty of Friendship, Cooperation and Partnership, Russia was allowed to retain the Sevastopol naval base and its lease was extended in 2010 until 2042, although a number of diplomatic conflicts made the agreement insecure. In the 2014 parliamentary elections, the pro-Russian government was overthrown in Ukraine, after which protests by pro-Russian and anti-government groups began in the Donetsk and Luhansk regions. The protests continued in an armed conflict because of the activities of the Euromaidan (Independence) movement. The first eight years of the conflict was featured by naval incidents, cyber warfare and political tensions. The war has degenerated into a static conflict with repeated failed attempts to engage a ceasefire. In 2015, Russia and Ukraine signed the Minsk II Agreement, but a number of disputes prevented its full implementation. The war in eastern Ukraine began with the Russian invasion on February 24, 2022, using *World War I-style mortars* and Soviet-made artillery. Since then, the situation has taken on a more *modern dimension*, with *soldiers monitoring the battlefield* on a small satellite monitor while their palm-sized drone hovers out of sight [18]. With *hundreds of reconnaissance and attack drones* flying over Ukraine every day, the 18<sup>th</sup> century struggle for land has become a competition for technological supremacy in the digital age. *In previous conflicts, drones were typically used by one side* to reconnaissance, like the U.S. operations in Afghanistan, the Middle East, or the Armenian–Azerbaijani war, *right now a multi-front drone war is brewing* [19].

### 3.3.1. Drones and loitering ammunitions used by Russia

#### Shahed-136 (GERAN-2)

The main role of this drone is to attack stationary ground targets by Pre-set coordinates. This drone is not efficient against moving targets. There are both advantages and disadvantages for the Shahed-136 (see Figure 7). The benefits of this drone is that the radar systems either do not detect or have difficulty detecting them. In an operational environment, it has proven to be resistant to anti-drone rifles and electronic warfare systems. The drone is launched from a rack, which holds 5 of these drones. The rack can be installed on a truck allowing for mobile „hit-and-run” operations. In traveling, it looks like a standard logistical truck with a canvas cover. The Shahed 136 is launched nearly horizontally and uses a rocket-assisted take-off. Last but not least, shooting down a surface-to-air missile costs much more than the price of this drone. On the other hand, the main role of this drone is to attack stationary ground targets, which coordinates are known. (pre-set coordinates) This drone is not efficient against moving targets. It is slow and very noisy. Its piston engine makes a characteristic lawnmower or moped sound. That is why the Ukrainians nicknamed them “flying mopeds” [20].



Figure 7.

Portrayed Unmanned Aircraft Systems (left: Shahed-136, right: Orlan-10) [41], [42]

#### Orlan-10 medium range, multi-purpose unmanned aerial vehicle (Special Technology Center)

A few more interesting things that make it more efficient than its peers. The Orlan-10 (see Figure 7) has electronic warfare capability and can distinguish between friendly and hostile means of transmitting information. It can be equipped with a jamming transmitter payload and is capable of creating zones for jamming the mobile phone network. An internal combustion engine, operating a two-blade propeller mounted in the nose, powers it. Developed by Russian state-owned *Roselectronika*, the GCS is able to control up to four UAVs at the same time [21]. It can be launched from a rack that is able to hold five of them. Its mobility makes it for a perfect candidate of conducting “hit and run” operations and can be covered with a canvas so it can be disguised as a common truck.

Kvazimachta, originally non-lethal “hardware lifting system” drone is designed to hover in place, unable to move outside the length of the electrical cable connected to the ground

station that powers the drone. The tether is limited around 70 metres, but allows it to stay aloft for some time like from hours to days before it must be landed for maintenance checks. Even though it is only stationary, it has its advantages like providing persistent ISR, tactical communications and border surveillance. The Kvazimachta equipped with camera and telecommunications hardware allows it to serve as a "hovering mast" transferring signals to its specified destination as a relay station [22].

Chinese drone manufacturer DJI primarily designs its drones for filmmakers and photographers, but both sides in the Ukrainian conflict use DJI helicopters for reconnaissance, such as BDA<sup>7</sup> artillery correction, and small-infantry grenade launches. Cheap commercial drones like the Matrice 300 have dramatically increased combat visibility. Many were donated to Ukrainian troops. The latest Mavic is equipped with a low-quality telephoto lens that allows you to observe targets beyond hearing range. The quadcopter is powerful enough to carry and drop a single trigger-operated grenade (VOG 17-30 mm). Mavics are most commonly used as a form of psychological warfare. In Kharkiv, the volunteer Khartia battalion is dropping small, cylindrical projectiles on the Russian bases. Explosives cannot cause serious damage in a tank, but they can have a significant psychological effect on the enemy, who is afraid that a bigger attack could come at any moment.

### 3.3.2. Drones and loitering ammunitions used by Ukraine

The Switchblade 300 (see Figure 8) is a cross between a grenade launcher and a loitering projectile. There is a need for a drone aloft to communicate with the launched operating loitering ammunition of course. Why is this good? You do not need to have a CAS (Close Air Support) capable aerial vehicle in the air near you. It is enough to have a Micro-mini class drone nearby to mark the target and provide the necessary telemetry data and other recordings, such as target characteristics, coordinates and so on. Then the crew decides the necessity of the launch of the loitering ammunition from different platforms like ground asset, waterborne or under water surface.



Figure 8.

Portrayed Switchblade Loiter Ammunition (left: Switchblade 300, right: Aerorozvidka R18) [43], [44]

<sup>7</sup> Battlefield Assessment.

Volunteers and IT professionals in response to the events of 2014 founded Aerorozvidka. Their aim was to help the Ukrainian armed forces, who were in dire need of reconnaissance capabilities. Such a drone costs about \$20,000, and ammunition from abandoned or unused depots is free (e.g. RKG-3). R18 (see Figure 8) drones are reusable, have a small logistical footprint and are difficult to detect and shoot down by SAF (Small Arms Fire). Aerorozvidka claims that its products are more effective than the Bayraktar TB2 [23].

## 4. Civilian area of use

The main objective of the European Union was to accelerate the Drone Strategy that is why last November they published their initiatives in order to strengthen the drone service, drone market and other potential uses of drones in the European airspace. There are numerous policy objectives that should be taken into consideration like the green transmission, urban air mobility, industrial renewal and those cutting-edge technologies that may support R&D, and at the same time the dual, military-civilian use of drones. These ideas can be applied to all areas of drone use and have getting into focus due to the growing military expenditure with the war in Ukraine. The clear message of the European Union with the creation of *Drone strategy 2.0* is to support the market with the emergence of drone defence technologies and to exploit the synergies that arise in the use of military drones. The funding of this research and development program is supported by Horizon Europe and the European Defence Fund. The dual use of drones involves not only the SUAV, but also, mainly, MALE RPAS, which are of strategic importance and allow the protection of European airspace [24].

### 4.1. Emergency response and disaster management

Trends in number of reported disasters like drought, earthquake, extreme temperature, famine, flood, insect infestation, volcanic eruption, wave and surge, wild fire and windstorm have been rising due to the growing of human population, which means increased food and energy demands [25]. Drones, as excellent carrier platforms equipped with appropriate sensors, are also useful for disaster prevention, rescue and recovery. In this environment, the reduction of available resources can be a problem. Dwindling resources lead to a shortage of information, human and mechanical resources for search and rescue, making it difficult to assess the damage, detect victims and deliver aid.

### 4.2. Urban planning and transport

Drones play a major role in geospatial and land surveying for development. Crowded cities' administrations or companies can use it for traffic and crowd management. Fast take-offs and flights over cities or rural areas to collect data using automated flights reduce costs and

fieldwork time. Creating 3D models with accurate, geo-referenced data that can be readily fitted into the BIM models<sup>8</sup> helps in visualising designs.

The sustainable air mobility is a key issue of urban transport all over the world. Roads are crowded, public transport networks are no longer expanding, but mobility is inevitable for transportation of goods, equipment and people themselves. Drone's flight altitude can affect the level of manned aviation, and at the same time, they must actively avoid obstacles on the ground to finally be safe enough for human transport. This area of drone use involves the most complex capabilities with equipment requirements that meet the principles of maximum robustness [26].

#### *4.3. Conservation of endangered species*

Drones are used to monitor wildlife and tagging animals or collecting samples. Drones help to get rid of poachers, replant forests destroyed by fires, and monitor populations of threatened wildlife.

#### *4.4. Healthcare*

Drones enable quick deliveries and access to drugs, blood and medical technologies in remote areas. Drones are now being used to deliver vital medical supplies to hard-to-reach areas. They also make live video feeds of high-risk birth procedures.

#### *4.5. Agriculture*

Drones help farmers to gather data and automate redundant processes to maximise efficiency. Agricultural drones allow farmers to monitor crop and livestock conditions from the air to keep watch for potential problems and help optimise field management. There are several functions of agricultural drones that farmers and other agri-business owners can use, including land imaging [27].

#### *4.6. Weather forecasting*

Weather drones aid in weather forecasting by physically following weather patterns. These drones can collect data on temperature, humidity, air pressure, wind speed and direction in different ways. One way is via temperature, humidity or air pressure sensors attached directly

<sup>8</sup> Building Information Modeling (BIM) is an intelligent 3D model-based process that enables architecture, engineering, and construction (AEC) professionals to plan, design, construct, and manage buildings and infrastructure with greater efficiency, while providing a vastly improved workflow.

to the drone. Another possibility for data collection is offered by so-called dropsondes.<sup>9</sup> The precise weather forecast is a huge potential in many areas of business. Findings of drone-supported atmospheric measurement over a restricted area could engage cost-safe actions for business. There are many weather critical activities like road cleaning, precise agriculture, highway structure, etc. where the commonly spread procedures are expensive and at same time harmful for the environment [28].

#### 4.7. Waste management

Drones help city administrators in the management of illegal dumping, identification of open dump areas, selection of landfill sites, landfill monitoring, calculating airspace of landfill, and collecting waste from coastlines. The University of Vigo in Spain has developed garbage-collecting drones to clean litter from beaches. Drones can monitor water quality using specialised cameras to help companies track this waste. A power company in China uses flamethrower-equipped drones to clean electric lines. Some areas use drones to watch locations of frequent littering to catch people in the act.

In most areas, laws are still regulating the use of drones in the field of industrial waste disposal, and some governments use drones to enforce these regulations. One of the most critical parts of waste management is ensuring the safety of protected environmental areas. Methane is odourless and colourless, so thermal camera-equipped drones allow companies to see it from a safe distance. To build a landfill safely, companies need to be sure they plan it well so it does not harm the surrounding environment. Laws require landfills to keep waste below a specific level of elevation, so sometimes they have to overfill cells. Drones can help landfill owners determine which cells to fill without causing a collapse. Landfills often fill individual cells as much as possible to make the most of their space. With the help of drones, they can better calculate compaction rates to determine how much to fill each cell [29].

Drones are used in mining to capture a lot of high-accuracy data fast across a mine site for constant measurement and assessment of the physical materials.

#### 4.8. Telecommunications

Drones aid in quick assessment of problems, making servicing easier, danger-free and less time-consuming to conduct tower inspections and/or "tower based" equipment inspections. Besides that, drones are also used in telecommunications relaying, when the tower-based telecommunications are ineffective and do not provide coverage over the given area.

<sup>9</sup> A dropsonde is a weather device that is designed to be dropped out of an aircraft at specified altitudes and due to the force of gravity, drop to the earth. During the descent, the GPS dropsonde collects data of the surrounding atmosphere that is remotely sent back to the aircraft by radio transmission.

## 5. Conclusion

This in-depth exploration of military and civilian drone applications aims to offer profound insights into the present dynamics and future trajectories of UAS. As it was highlighted in the introduction, this interdisciplinary field integrates aerospace engineering, computer science, robotics, and remote sensing, underscoring the necessity for collaborative efforts to propel UAS technology forward. Serving as a comprehensive guide, our study stands as a valuable resource for researchers and practitioners navigating the ever-evolving landscape of UAS research.

The transformative role of drones extends beyond their physical deployment on the battlefield, reshaping strategic thinking, military doctrines, and organisational structures. Nations leading in drone proliferation strategically prioritise key elements such as weapon-carrying capability, precision in strikes, adaptability to various zones, utility in military intelligence, and the capacity for autonomous operation. These considerations significantly shape the developmental trajectories of military drones. Nevertheless, military drones, encapsulated by the ISTAR acronym, play a crucial role in elevating situational awareness for decision-makers. Their capabilities, ranging from intelligence gathering to targeted strikes, underscore the evolving dynamics in modern warfare. The examples across micro, mini, tactical, and MALE/HALE UAVs showcase the diversity of purposes served, emphasising the versatility and technological advancements in this domain.

Examining armed conflicts around the globe highlights the evolving role of drones in warfare. Beyond targeted strikes, drones contribute to a display of force and the dismantling of ground infrastructure. The development of drones is increasingly influenced by the challenges posed in the combat micro-environment, the importance of visual imaging, the territorialisation of battles, and payload characteristics.

In the civilian domain, our study reveals the multifaceted roles of drones in emergency response, urban planning, conservation efforts, healthcare, agriculture, weather forecasting, waste management, mining, and telecommunications. From assessing damages during emergencies to optimising agricultural practices and contributing to efficient urban planning, drones have become indispensable tools, showcasing their potential to revolutionise various industries.

In conclusion, it must be noted that the implications of drone technology extend far beyond military applications, promising revolutionary advancements in industries, disaster response, healthcare accessibility, and sustainable environmental practices. As we navigate the complex landscape of unmanned aerial systems, collaborative research efforts, interdisciplinary approaches, and a nuanced understanding of ethical and societal implications will be paramount in unlocking the full potential of drone technology for both military and civilian objectives.

## References

- [1] S. N. Mohanty et al. eds., *Drone Technology: Future Trends and Practical Applications*. Wiley, 2023. Online: <https://doi.org/10.1002/9781394168002>
- [2] [E. Vinogradov, S. Pollin, *Drone Technology: Interdisciplinary Systematic Assessment of Knowledge Gaps and Potential Solutions*. 2021. Online: <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2110.07532>
- [3] M. Abdelkader, A. Koubâa, *Unmanned Aerial Vehicles Application: Challenges and Trends*. Cham, Springer, 2023. Online: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-32037-8>
- [4] U. E. Franke, *The Unmanned Revolution: How Drones are Revolutionising Warfare*. PhD Thesis, University of Oxford, 2018.
- [5] A. Kumar, 'Drone Proliferation and Security Threats'. *Journal of Asian Affairs*, Vol. 33, no. 1–2, pp. 43–62, 2020.
- [6] C. Cioacă et al., 'UAS Flexible Configuration for Optimum Performance in ISTAR Military Missions'. *Studies in Informatics and Control*, Vol. 31, no. 3, pp. 117–124, 2022. Online: <https://doi.org/10.24846/v31i3y202211>
- [7] M. Palik, *Pilóta nélküli repülés profioknak és amatőröknek*. Budapest, Nemzeti Közszerződési Egyetem, 2013.
- [8] R. Melnyk, *A Framework for Analyzing Unmanned Aircraft System Integration into the National Airspace System Using a Target Level of Safety Approach*. Doctoral Thesis, Georgia Institute of Technology, 2013. Online: <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2110.07532>
- [9] F. W. Ploeger, *Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems in NATO*. Joint Air Power Competence Centre, 2010.
- [10] Defence.hu, *The Skylark Procurement Project Has Come to an End*. Defence.hu, 2023. Online: <https://defence.hu/news/the-skylark-procurement-project-has-come-to-an-end.html>
- [11] A. Parsch, *Current Designations of U.S. Military Aircraft*. 2023. Online: [www.designation-systems.net/usmilav/aircraft.html](http://www.designation-systems.net/usmilav/aircraft.html)
- [12] C. J. Coyne, A. R. Hall, 'The Drone Paradox: Fighting Terrorism with Mechanized Terror'. *The Independent Review*, Vol. 23, no. 1, pp. 51–67, 2018.
- [13] N. C. Crawford, 'Accountability for Targeted Drone Strikes Against Terrorists?'. *Ethics and International Affairs*, Vol. 29, no. 1, pp. 39–49, 2015. Online: <https://doi.org/10.1017/S0892679414000744>
- [14] E. Hecht, 'Drones in the Nagorno-Karabakh War: Analyzing the Data'. *Military Strategy Magazine*, Vol. 7, no. 4, pp. 31–37, 2022. Online: [www.militarystrategymagazine.com/article/drones-in-the-nagorno-karabakh-war-analyzing-the-data/](http://www.militarystrategymagazine.com/article/drones-in-the-nagorno-karabakh-war-analyzing-the-data/)
- [15] S. Shaikh, W. Rumbaugh, *The Air and Missile War in Nagorno-Karabakh: Lessons for the Future of Strike and Defense*. Center for Strategic and International Studies, 8 December 2020. Online: [www.csis.org/analysis/air-and-missile-war-nagorno-karabakh-lessons-future-strike-and-defense](http://www.csis.org/analysis/air-and-missile-war-nagorno-karabakh-lessons-future-strike-and-defense)
- [16] J. F. Antal, *Seven Seconds to Die: A Military Analysis of the Second Nagorno-Karabakh War and the Future of Warfighting*. Philadelphia, Oxford, Casemate, 2022.
- [17] I. Resperger, *A válságkezelés és a hibrid hadviselés*. Budapest, Dialóg Campus, 2018.
- [18] "International armed conflict in Ukraine". *Rule of Law in Armed Conflicts*, 2023.

- [19] M. Ilyushina et al., 'Russia and Ukraine are Fighting the First Full-Scale Drone War'. *The Washington Post*, 2 December 2022. Online: [www.washingtonpost.com/world/2022/12/02/drones-russia-ukraine-air-war/](http://www.washingtonpost.com/world/2022/12/02/drones-russia-ukraine-air-war/)
- [20] A. Taylor et al., 'What Are Kamikaze Drones? Here's How Russia and Ukraine Are Using Them'. *The Washington Post*, 17 October 2022. Online: [www.washingtonpost.com/world/2022/10/17/kamikaze-drones-russia-ukraine/](http://www.washingtonpost.com/world/2022/10/17/kamikaze-drones-russia-ukraine/)
- [21] Airforce Technology, *Orlan-10 Uncrewed Aerial Vehicle (UAV)*. 24 March 2023. Online: [www.airforce-technology.com/projects/orlan-10-unmanned-aerial-vehicle-uav/](http://www.airforce-technology.com/projects/orlan-10-unmanned-aerial-vehicle-uav/)
- [22] A. Chapple, *The Drones of the Ukraine War*. Radio Free Europe/Radio Liberty, 17 November 2022. Online: [www.rferl.org/a/ukraine-russia-invasion-drones-war-types-list/32132833.html](http://www.rferl.org/a/ukraine-russia-invasion-drones-war-types-list/32132833.html)
- [23] D. Hambling, 'How Ukraine Perfected The Small Anti-Tank Drone', *Forbes*, 1 June 2022. Online: [www.forbes.com/sites/davidhambling/2022/06/01/how-ukraine-perfected-the-small-anti-tank-drone/](http://www.forbes.com/sites/davidhambling/2022/06/01/how-ukraine-perfected-the-small-anti-tank-drone/)
- [24] C. Lavallée, B. O. Martins, 'Reframing Civil–Military Relations in the EU: Insights From the Drone Strategy 2.0'. *Journal of Common Market Studies*, Vol. 62, no. 2, pp. 619–625, 2024. Online: <https://doi.org/10.1111/jcms.13546>
- [25] M. A. R. Estrada, A. Ndoma, 'The Uses of Unmanned Aerial Vehicles –UAV's- (or Drones) in Social Logistic: Natural Disasters Response and Humanitarian Relief Aid'. *Procedia Computer Science*, Vol. 149, pp. 375–383, 2019. Online: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.151>
- [26] B. Vízvári, 'Repülési technológiára alapozott, nagyvárosi, kiterjedt katasztrófa utáni mentőszervezet: koncepció elvek'. *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 31, no. 2, pp. 177–192, 2019. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.2.13>
- [27] C. McCarthy, 'Can Drones Help Smallholder Farmers Improve Agriculture Efficiencies and Reduce Food Insecurity in Sub-Saharan Africa? Local Perceptions from Malawi'. *Agriculture*, Vol. 13, no. 5, 2023. Online: <https://doi.org/10.3390/agriculture13051075>
- [28] Z. Bottyán et al., 'Rutinszerű légköri vertikális profilmérések végrehajtására alkalmas drón mérőhálózat kialakítása'. *Közlekedés Mobilitás*, Vol 1, no. 1, pp. 55–65, 2022. Online: <https://doi.org/10.55348/KM.16>
- [29] G. K. Kiss Leizer, 'Possible Areas of Application of Drones in Waste Management during Rail Accidents and Disasters'. *Interdisciplinary Descriptions of Complex Systems*, Vol. 16, no. 3-A, pp. 360–368, 2018. Online: <https://doi.org/10.7906/indecs.16.3.8>
- [30] <https://elbitsystems.com/product/skylark-3/>
- [31] [www.thedefensepost.com/2022/11/10/us-army-puma-drones-aerovironment/](http://www.thedefensepost.com/2022/11/10/us-army-puma-drones-aerovironment/)
- [32] <https://aviationsmilitaires.net/v3/kb/picture/7326/thales-wk450-watchkeeper-en-vol>
- [33] [www.navalnews.com/naval-news/2020/11/philippine-navy-takes-delivery-of-eight-scaneagle-uav/](http://www.navalnews.com/naval-news/2020/11/philippine-navy-takes-delivery-of-eight-scaneagle-uav/)
- [34] [www.turbosquid.com/3d-models/aai-rq-7-shadow-uav-3ds/969532](http://www.turbosquid.com/3d-models/aai-rq-7-shadow-uav-3ds/969532)
- [35] [www.turbosquid.com/es/3d-models/combat-drone-tai-anka-s-rigged-model-1912206](http://www.turbosquid.com/es/3d-models/combat-drone-tai-anka-s-rigged-model-1912206)
- [36] [www.turbosquid.com/3d-models/3d-bayraktar-tb2-model-1510071](http://www.turbosquid.com/3d-models/3d-bayraktar-tb2-model-1510071)
- [37] <https://aero-space.eu/2023/03/08/heron-family-of-uas-the-key-to-gaining-tactical-and-strategic-intelligence/>
- [38] <https://fancy4sport.com/mq-1-predator-pioneering-unmanned-aerial-warfare-hoan-hanghai-1696685184079/>

- [39] [www.unmannedsystemstechnology.com/2018/07/mq-9-reaper-uas-selected-by-royal-netherlands-defence-force/](http://www.unmannedsystemstechnology.com/2018/07/mq-9-reaper-uas-selected-by-royal-netherlands-defence-force/)
- [40] [www.turbosquid.com/es/3d-models/3d-model-iai-harop-uav-1878038](http://www.turbosquid.com/es/3d-models/3d-model-iai-harop-uav-1878038)
- [41] [www.turbosquid.com/3d-models/hesa-shahed-136-2046457](http://www.turbosquid.com/3d-models/hesa-shahed-136-2046457)
- [42] <https://free3d.com/3d-model/russian-uav-orlan-10e-5365.html>
- [43] [www.avinc.com/media\\_center/assets/loitering-munition-systems/switchblade](http://www.avinc.com/media_center/assets/loitering-munition-systems/switchblade)
- [44] <https://engineerine.com/ukraine-is-building-diy-drones/>

## **Átfogó tanulmány a katonai és polgári drónalkalmazásokról: a legfontosabb területek és a jövőbeli kilátások felmérése**

*A tanulmány célja, hogy átfogó áttekintést nyújtson a pilóta nélküli repülőgép-rendszerekről (UAS), beleértve mind a polgári, mind a katonai alkalmazást a kortárs műveletekben, hangsúlyozva a jövőbeli fejlesztésekre gyakorolt potenciális hatásukat. Alapos elemzésen keresztül megvizsgáljuk a jelenlegi legmodernebb UAS-technológiákat, azok alkalmazásait, és értékeljük hatékonyságukat a különböző ágazatokban. Továbbá ez a kutatás betekintést nyújt a lehetséges pályákba és kihívásokba, amelyek a dróntechnológia további fejlődésével és mindennapi életünkbe való integrációjával kapcsolatban merülhetnek fel.*

**Kulcsszavak:** Nagorno-Karabah, Ukrajna–Oroszország, pilóta nélküli repülőgép-rendszer, engedély nélküli lőszer, kettős felhasználás

Dr. Vas Tímea  
docens  
Nemzeti Közszerológálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék  
[vas.timea@uni-nke.hu](mailto:vas.timea@uni-nke.hu)  
[orcid.org/0000-0002-0082-0370](https://orcid.org/0000-0002-0082-0370)

Tímea Vas, PhD  
Associate Professor  
Ludovika University of Public Service  
Faculty of Military Science and Officer Training  
Department of Aerospace Controller and Pilot Training  
[vas.timea@uni-nke.hu](mailto:vas.timea@uni-nke.hu)  
[orcid.org/0000-0002-0082-0370](https://orcid.org/0000-0002-0082-0370)

Dr. Károly Krisztián  
tanársegéd  
Nemzeti Közszerológálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék  
[karoly.krisztian@uni-nke.hu](mailto:karoly.krisztian@uni-nke.hu)  
[orcid.org/0000-0002-5835-7980](https://orcid.org/0000-0002-5835-7980)

Krisztián Károly, PhD  
Assistant Lecturer  
Ludovika University of Public Service  
Faculty of Military Science and Officer Training  
Department of Aerospace Controller and Pilot Training  
[karoly.krisztian@uni-nke.hu](mailto:karoly.krisztian@uni-nke.hu)  
[orcid.org/0000-0002-5835-7980](https://orcid.org/0000-0002-5835-7980)

Zsembery Szabolcs gyakorlati oktató Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék <a href="mailto:zsembery.szabolcs@uni-nke.hu">zsembery.szabolcs@uni-nke.hu</a> <a href="https://orcid.org/0009-0005-1791-2588">orcid.org/0009-0005-1791-2588</a>	Szabolcs Zsembery Practical Instructor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training <a href="mailto:zsembery.szabolcs@uni-nke.hu">zsembery.szabolcs@uni-nke.hu</a> <a href="https://orcid.org/0009-0005-1791-2588">orcid.org/0009-0005-1791-2588</a>
Horváth Gábor PhD-hallgató Nemzeti Közszerológati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola <a href="https://orcid.org/0000-0002-2939-1426">orcid.org/0000-0002-2939-1426</a>	Gábor Horváth PhD Student Ludovika University of Public Service Military Engineering Doctoral School <a href="https://orcid.org/0000-0002-2939-1426">orcid.org/0000-0002-2939-1426</a>

Project no. 2022-2.1.1-NL-2022-00012 has been implemented with the support of the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund, financed under "The National Laboratory for Cooperative Technologies" funding scheme.

Viktória Bene, Zoltán Kristóf, Barbara Elek

## The DJI Dock 2 is a “Drone in a Box” to Enhance the Unmanned Guard Solution – Scientific Research with the Cooperation of Duplitec Ltd.

*The DJI Dock 2 “drone in a box” is an enhanced version of the previous Dock 1 solution, where a more sophisticated, agile, mobile, lightweight and efficient product has been introduced to improve and meet the needs of reliable, fully autonomous drone operations even at an extended range. The latest advances in technology will enable the organisation, planning and execution of fully automated flight operations with drones, even beyond visual range. There are many missions and tasks that were previously dangerous to perform with human resources because it was too risky or did not provide an efficient and satisfactory solution for the control, guarding, protection or continuous surveillance of sites important for the operation of public bodies, sectors of the national economy or for guaranteeing the safety of the population. Now these problems can be adequately addressed with the DJI Dock 2 and its accessories, as it can be used for drone-powered patrols and guarded tours around protected areas.*

**Keywords:** *DJI Dock 2, full automatic drone flight, technical capabilities and specificities, mission planning and execution, operational conditions, legislation*

### 1. Introduction

Over the past decade, natural disasters have become more frequent and severe, prompting communities to develop new, innovative technological solutions to reduce the impact of disasters [9].

Unmanned Aircraft System (UAS) technology is advanced and versatile, and they are already successfully used in many areas of aviation. However, their full integration into general aviation is still an open issue as they face a number of safety and regulatory challenges [2].

The interest in UAVs has increased significantly in recent years. The main reason is that UAVs can perform difficult or dangerous tasks with high mobility, safe operation and low cost [6].

UAVs are now increasingly integrated into disaster management and humanitarian aid [7]. Among its many benefits, it is important to note that the presence of UAVs can eliminate citizen's concerns from a public protection approach and ultimately support business growth [8]. However, their effective use in mass disasters is still in its infancy.

The protection of critical systems and facilities, including critical infrastructures and other key assets, is mandatory and requires newly developed automated or semi-automated solutions to enhance the security of these institutions. The big challenge is sometimes the harsh and bare environment where human intervention is not possible or dangerous, so security issues need to be addressed by unmanned (robotic) solutions where these conditions can be managed in an appropriate and safe way [3].

Unmanned aerial systems are an important part of these solutions, where UAS(s) equipped with different payloads, mostly with different types of sensors and cameras, can provide significant solutions to address these security issues. In general, the industrial, military and key infrastructures and the protected areas are extensive and, therefore, the coverage in terms of shape, form and time is challenging, especially for fully automated systems. Drones in themselves offer significant solutions for detection, surveillance, monitoring and many other tasks, but operations need to be aligned with existing legislation, especially for beyond visual line of sight (BVLOS) or special (licensed) operations. Remote or unattended operations is a new area in the industry with its own specific challenges and requirements. It is well known that in engineering development, engineers are always striving to achieve higher performance, coverage, connectivity, reliability and ultimate accessibility of a technology, but these also require complex coordination tasks [1].

It is important to note that the security challenges associated with drones, particularly the issue of targeting explosives or explosive devices, have been highlighted for more than a decade. "The quadcopter is therefore a technical tool that, if properly designed, can be used to support our own troops. It can assist in countering improvised explosive devices, but it must be remembered that in the wrong hands it can become a weapon of great effectiveness" [11]. The world's largest parcel delivery company has also been testing and using unmanned aerial vehicles to move parcels and goods for some time. The devices would be used mostly for moving parcels between warehouses and between airports and remote depots. Again, the main motivation for deployment is to reduce costs and minimise transport time [11]. The risk is therefore real, and in the case of critical infrastructure, it is a major risk factor [12].

In the event of a nuclear or radiological emergency, the rapid availability of reliable data is crucial for government decisions that can affect thousands of people and have significant social, economic and environmental impacts. There are two main approaches to investigate a radiological situation: one is to equip early intervention teams with transportable radiation detectors and send them to the affected areas, and the other is to measure remotely using unmanned vehicles carrying radiological detection systems to measure relevant radiological parameters. The latter approach is increasingly preferred in order to protect public health [5].

At critical infrastructure sites such as ports, refineries, the highest security standards apply, but the execution of deliberate attacks, including the transport of goods containing explosives or other dangerous materials, spying on personnel, suppliers, visitors and operations, perimeter surveillance, movement of security personnel, can occur at any time and in any place [3].

DJI has developed the latest version of the "drone in the nest" solution, which allows you to manage the flight plan and execution of the flight without the presence of a remote control, and all flight paths are fully automated. This helps security agencies to save human resources, protect human lives in hazardous environments where appropriate, simplify policies, procedures and ultimately move everything to a more automated version where

information is detected, monitored, processed and distributed in real-time to the disposition authorities or agents.

Duplitech Ltd., as the main distributor of drones and unmanned aerial systems in Hungary, provides the DJI Dock 2 solution as a new capability for security and safety services to solve these security challenges and build a standardised technology, where drones do patrols – like sentry drones – to provide technology-based security systems where only one technical director (remote pilot) is enough in the loop to monitor ongoing situations (situational awareness) and intervene when the situation dictates, where everything can be based on local networks [4].

## 2. Discussion

The DJI Dock 2 is an automated, unattended operating platform with a highly integrated design, including an ultra-wide-angle camera, wind speed sensor, rain gauge, communication antennas, RTK (real-time kinematic positioning) module and Uninterrupted Power Supply (UPS). It has a fast charging module that charges the battery from 10% to 90% in 25 minutes. The operating range is up to 10 km. Total docking weight is 34 kg (excluding aircraft weight), input voltage is AC 100-240 V, 50/60 Hz, IP55 protection class, and the maximum operating altitude is 4000 m.

DJI's dock 2 to accommodate Matrice 3D/3TD type drone versions is equipped with multiple redundancy flight control systems, six directional sensors and positioning systems, a powerful multi-camera payload and a new First Person View (FPV) camera night vision system that provides Return to Home and obstacle detection. Total weight: 1410 g (without baggage), maximum take-off weight: 1610 g, maximum flight time: 50 minutes, maximum operating altitude: 4000 m, image transmission solution: O3 Enterprise, video transmission range Federal Communications Commission (FCC): 15 km, European Conformity (CE): 8 km, State Radio Regulation of China (SRRC): 8 km, "MIC" video transmission (MIC): 8 km, wide angle camera: 1/1.32 inch, complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS); 48 MP, telephoto camera: 1/2 inch CMOS; 12MP; 56x hybrid zoom, thermal imaging 640 x 512 @ 30 fps (Figure 1).



Figure 1.  
DJI Dock 2 and Matrice 3D/3DT [14]

As setup and installation progresses, the selected site must meet the requirements and complete the DJI Dock 2 Site Survey Checklist. Environmental conditions and requirements must also be met, including operating temperature, altitude of the installation site, weather conditions, interference from strong electromagnetic waves such as radar stations, mobile communications base stations, and equipment that may interfere with the drone. The DJI Dock 2 does not have a Wi-Fi connection, LAN establishment is provided via a fast Ethernet, therefore, an outdoor LTE/Wi-Fi available Ethernet port is required. When using a direct Ethernet cable connection from the IT room to the dock, the maximum distance between the connection points should not exceed 80 m. Gigabit networking is recommended, and the upstream bandwidth should be more than 10 Mbps, but it is recommended to be over 40 Mbps. Bandwidth is critical and connectivity is important in understanding how much data you will be pushing through a connection, especially if you are in a backup application and cannot capture video every time the mission – in progress – is running. Due to these challenges, and depending on user's infocommunication options – Starlink, a cellular outdoor LTE/Wi-Fi modem, or hardline fiber – it is mandatory to have backup solutions in the dock when the primary link goes down, especially for a fully remote system [14].

Important factors in drone technologies are regulatory considerations, which sometimes put aircraft manufacturers under tough conditions that they must meet at any time and in any environment in order to ensure the reliable integrity of aircraft in national airspace. The most exciting operation is the BVLOS, where different types of operations are acceptable at prescribed and predetermined altitudes around critical infrastructure – where regulation would be more permissive in terms of altitudes than at other non-critical locations – and predetermined ranges must also be regulated. A very important issue is operations over people, where other safety requirements are introduced to ensure safer operation of aircraft, such as the use of third-party accessories such as drone parachute rescue and flight-interruption systems that allow pilots to fly without difficulty in overpopulated areas or beyond visual range. Notwithstanding this, BVLOS operations – which are, however, based on reliable Unmanned Traffic Management/Unmanned SPACE (UTM/U-SPACE) environments that are not used for air traffic control in most cases – must be aborted by remote pilots (remote controllers) at any time when a warning, alert message is sent, which is distributed via the UTM system.

As the system can be installed and operated as a stand-alone system, the designated site can be located away from the controlled area. Self-defence solutions such as protective fencing, third-party security cameras and other surveillance systems will be required, which can provide the unit with some force protection capability to protect against intruders or unauthorised persons. Consequently, the unit may be installed on the roof or in other locations where access by unauthorised persons is severely restricted or where there are other guarding and monitoring devices in the environment that can be used to detect any unauthorised access immediately.

The configuration process involves updating the firmware of the dock, the aircraft and the remote control to the latest version, checking the status of the micro SD card of the aircraft and formatting the memory card to exFAT format. Before connecting the aircraft to the DJI Dock, it should be connected to the remote for a flight test to ensure safety. By default, the network configuration is automatically assigned an IP address, so no special configuration is

required. If you want to use a static IP, you will need to configure it separately. To ensure the safety of the docking flight test, the remote control can be used to manually take control of the aircraft during flight after connecting to the aircraft as a B controller. After configuring the dock and the drone, the next step is cloud management. The first action is to create a flight plan using the Flight Route Library icon (Figure 2). In this menu, you can enter the flight route editor, set the route parameters and plan the flight route. After the route design, we can create a new task by clicking on the Task plan library icon. In this menu, we can link the created flight plan to a planned task and choose the selected dock, which will be assigned to execute the planned task based on the pre-planned flight paths. You can also set the timer for the plan and the Return to Home (RTH) altitude relative to the dock, and finally click OK to complete the new flight plan. Through the cloud management, you can access the maintenance interface, where you can view live and storage data of the dock and its associated drone, as well as debugging.

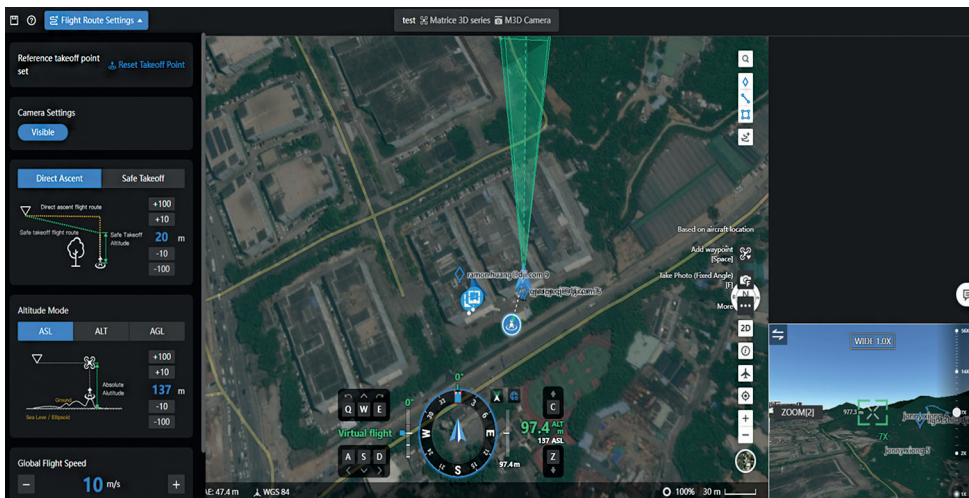


Figure 2.  
*Flight path library* [based on the authors' own editing]

DJI docking station is rugged, reliable and designed to work around the clock, day or night, rain or shine, you can schedule missions, create and edit flight paths and manage the data you collect. Before a mission, the aircraft uses vision sensors to detect the surrounding environment and quickly determine if there are strong Global Navigation Satellite Systems (GNSS) signals in the area. This new, vision-based evaluation significantly speeds up site selection, reducing the time required from five hours to twelve minutes or less [15].

The FlightHub2 is a turnkey solution suitable for autonomous drone operations, but there is also the option of a "controller B" solution. Access to a central interface by multiple users, cloud-based system. Device status monitoring (abnormal operation, environmental parameters, states) is available (Figure 3).

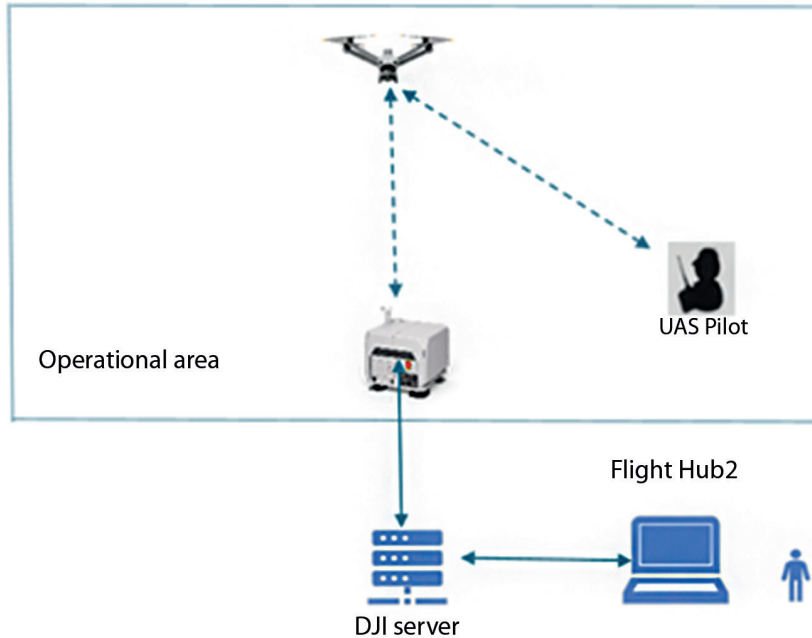


Figure 3.  
*Creating a network* [authors' own editing]

The main features of the flight centre are: adding and creating real 3D models, mission planning, viewing recordings, live view streaming functions.

Data security: 27001/27017/27018 certified server, information security management system, access connection with multi-level protection mechanisms [16].

### 3. Operation

The first mission is the deployment phase, but before the deployment, the aircraft can use vision sensors to scan the environment and the conditions of the desired locations to quickly determine whether the area has strong GNSS signals. This new vision-based inspection and assessment significantly speeds up the process of selecting sites. The next process is to plan flight routes using high accuracy 3D models. Operators can perform visual flight path editing from a first-person perspective and preview simulated imaging results. This facilitates intuitive and efficient operation, and increases flight path planning and the accuracy of planned flight paths. During flight path planning, operators can frame a specific area in the 3D model (in our case, for example, a controlled area should be guarded by Dock 2) and the aircraft will automatically compare the area to be captured with the framed area during subsequent automated operations. In this way, the camera angle is adjusted to ensure that the same area is accurately captured on multiple flights.





Figure 5.  
Low-threshold access to third-party cloud platforms [14]

The communication links and protocols used can be adequately protected according to local standing operating procedures (Figure 6).

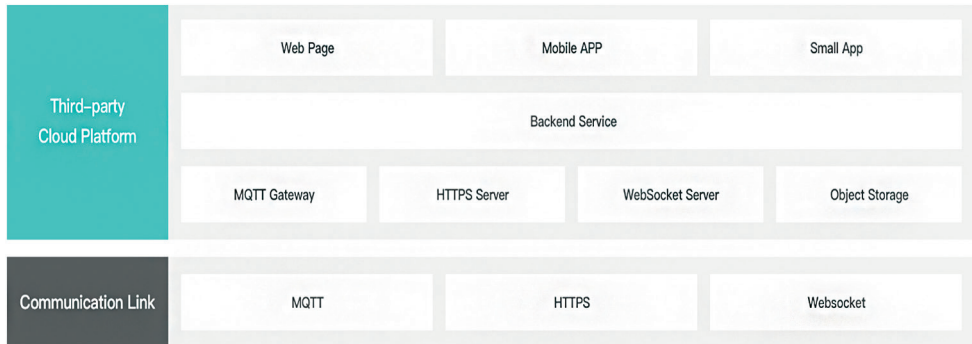


Figure 6.  
Third-party cloud platforms and communication connectivity [14]

#### 4. Conclusion, summary

The Dock 2 is a lightweight structure that offers high level of sophisticated operational capabilities and capacities with cloud-based intelligent functions that provide efficiency and quality for automated operations. More capable, yet noticeably smaller, the DJI Dock 2 easily and securely deploys Matrice 3D or 3TD drones.

The unit is easy to deploy, has IP 55 protection, provides a max effective operating radius of 10 km, provides an integrated environmental monitoring system (significantly reducing flight risks), cloud modelling, mission planning and tasking tools, private deployment options, application provisioning, 400 battery cycles, and supports third-party payloads. Finally, users can enjoy fast 2D/3D reconstruction and enhanced point cloud reconstruction capabilities with the newly developed DJI TerraAPI solution.

Based on DJI FlightHub 2 or a third-party cloud platform, even if DJI Dock 2 is installed in a remote region, you can control the flight and gimbal angle using the operator keyboard and mouse. When executing automatic flight tasks, the aircraft uses omni-directional obstacle detection and automatic obstacle avoidance features to increase the success rate of flight tasks. This is a very important factor for maintaining flight safety and for the subsequent execution of operations in a UTM/U-SPACE environment, even for BVLOS operations.

## References

- [1] B. Békési, G. Major, 'A drónok konfigurációi, alkalmazási területei'. in *Műszaki tudomány az Északkelet-magyarországi régióban*, G. Páy ed., Nyiregyháza, Nyiregyházi Egyetem, pp. 301–307. 2022. Online: <https://www.nye.hu/sites/default/files/u5/KFI/Acta7.pdf>
- [2] F. De Florio, 'Airworthiness of Unmanned Aircraft Systems (UAS)'. In *Airworthiness: An Introduction to Aircraft Certification and Operations, Third Edition*, Elsevier eBooks pp. 471–493. 2016. Online: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100888-1.00011-2>
- [3] G. Major, *The Possibilities of Unmanned Aerial Systems (UAS) for National Security Purposes, Technical Constraints and Ethical Issues*. PhD Thesis, Budapest, Ludovika University of Public Service, 2023.
- [4] G. Major, 'A természetes vízbázisok jellemzőinek feltérképezése és védelme drónok segítségével'. *Polgári Védelmi Szemle*, Vol. 14, DAREnet project supplement, pp. 50–63. 2022.
- [5] L. Gajdács, G. Major, 'Katonai célú drónok fejlesztése a jelenkorban, a jövőt vizionálva'. in *Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből III*, L. Földi ed., Budapest, Ludovika, pp. 101–120. 2022. Online: [https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/static/pdfs/web/viewer.html?file=https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/18399/Szemelvények\\_a\\_katonai\\_muszaki\\_tudomanyok\\_eredmenyeibol\\_III.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/static/pdfs/web/viewer.html?file=https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/18399/Szemelvények_a_katonai_muszaki_tudomanyok_eredmenyeibol_III.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [6] A. Vargas et al., 'Comparison of Airborne Radiation Detectors Carried by Rotary-Wing Unmanned Aerial Systems'. *Radiation Measurements*, Vol. 145, p. 106595. 2021. Online: <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2021.106595>
- [7] M. N. Boukoberine, Z. Zhou, M. Benbouzid, 'A Critical Review on Unmanned Aerial Vehicles Power Supply and Energy Management: Solutions, Strategies, and Prospects'. *Applied Energy*, Vol. 255, p. 113823. 2019. Online: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113823>
- [8] S. M. S. M. Daud et al., 'Applications of Drone in Disaster Management: A Scoping Review'. *Science & Justice*, Vol. 62, no. 1, pp. 30–42. 2022. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2021.11.002>

- [9] H. Nakamura, Y. Kajikawa, 'Regulation and Innovation: How Should Small Unmanned Aerial Vehicles Be Regulated?' *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 128, pp. 262–274. 2018. Online: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.06.015>
- [10] U. Iqbal, P. Perez, J. Barthélemy, 'A Process-Driven and Need-Oriented Framework for Review of Technological Contributions to Disaster Management'. *Heliyon*, Vol. 7, no. 11, p. e08405. 2021. Online: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08405>
- [11] N. Daruka, 'Kvadrokopter, mint lehetséges felderítő eszköz, avagy a repülő polip visszatért'. *Repüléstudományi Közlemények*, Vol 25, no. 2, pp. 114–122. 2013. Online: [http://epa.oszk.hu/02600/02694/00062/pdf/EPA02694\\_rtk\\_2013\\_2\\_114-122.pdf](http://epa.oszk.hu/02600/02694/00062/pdf/EPA02694_rtk_2013_2_114-122.pdf)
- [12] N. Daruka, 'Oktokopter: A légi szállítás modernizációja, vagy a robbanószerkezetek célba juttatásának újabb lehetősége'. *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 26, no. 2, szám. pp. 247–256. 2014. Online: [https://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014\\_cikkek/2014-2-21-0125\\_Daruka\\_Norbert.pdf](https://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014_cikkek/2014-2-21-0125_Daruka_Norbert.pdf)
- [13] L. Szalkai, N. Daruka, 'The Dangers of Unmanned Aircraft Systems'. *Symposium Proceedings – Hungarian Society for Blasting Technology*, 15 September 2022, Budapest, Magyar Robbantástechnikai Egyesület, pp. 247–257, 2022. Online: <https://drive.google.com/file/d/1rz5SiZVwu5CaNyAnpK3XoFsjqq01D7UK/view>
- [14] DJI Cloud API. Online: <https://developer.dji.com/cloud-api/>
- [15] DJI Dock 2 Matrice 3D Series Unmanned Aircraft Flight Manual v1.0 2024.04. Online: [https://dl.djicdn.com/downloads/DJI\\_Dock\\_2/User\\_Manual/20240407/DJI\\_Dock\\_2\\_User\\_Manual\\_V1.0\\_EN.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Dock_2/User_Manual/20240407/DJI_Dock_2_User_Manual_V1.0_EN.pdf)
- [16] DJI Dock 2 Quick Installation Guide, v1.0 2024. Online: [https://dl.djicdn.com/downloads/DJI\\_Dock\\_2/20240326/DJI%20Dock%20Quick\\_Installation\\_Guide\\_Multi.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Dock_2/20240326/DJI%20Dock%20Quick_Installation_Guide_Multi.pdf)
- [17] DJI Dock 2. Installation and Setup Manual, v1.0 2024.04. Online: [https://dl.djicdn.com/downloads/DJI\\_Dock\\_2/User\\_Manual/20240407/DJI\\_Dock\\_2\\_Installation\\_And\\_Setup\\_Manual\\_v1.0\\_EN.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Dock_2/User_Manual/20240407/DJI_Dock_2_Installation_And_Setup_Manual_v1.0_EN.pdf)
- [18] DJI FlightHub 2 User Manual. Online: <https://fh.dji.com/user-manual/en/overview.html>

---

## ***DJI Dock 2 „egy drón a dobozban”, fokozni az ember nélküli őrzés-védelem megoldását – tudományos kutatás a Duplitech Kft. közreműködésével***

*A DJI Dock 2 „drón a dobozban” a korábbi Dock 1 megoldás továbbfejlesztett változata, ahol egy kifinomultabb, agilisabb, mobilabb, könnyebb és hatékonyabb terméket vezettek be, hogy az megfelelően megbízható, teljesen autonóm drónműveleteknek kiterjesztett hatótávolság alatt is. A technológia legújabb fejlesztésével lehetővé válik a drónokkal történő, teljesen automatikus repülési műveletek megszervezése, megtervezése és végrehajtása, akár látótávolságon túli műveletek esetén is. Sok az olyan küldetés és feladat, amelyeket korábban veszélyes volt emberekkel végrehajtani, mivel az emberi erőforrás alkalmazása túl veszélyes volt, vagy nem hozott hatékony és kielégítő megoldást az állami szervek, a nemzetgazdasági ágazatok működése vagy a lakosság biztonságának garantálása szempontjából, továbbá fontos helyszínek ellenőrzésére, őrzésére,*

*védelmére vagy folyamatos megfigyelésére is szükség lehet. Most ezeket a problémákat a DJI Dock 2 és tartozékai segítségével megfelelő módon lehet kezelni. Használhatók drónnal végzett járőrözésekhez és védett területek körüli őrzött túsókhoz.*

**Kulcsszavak:** *DJI Dock 2, teljes automatikus drónrepülés, műszaki képességek és sajátosságok, küldetéstervezés és -végrehajtás, működési feltételek, jogszabályok*

Bene Viktória PhD-hallgató Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola  <a href="mailto:bene.viktoria.sl@gmail.com">bene.viktoria.sl@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-0319-4483">orcid.org/0000-0002-0319-4483</a>	Viktória Bene PhD Student Óbuda University Doctoral School on Safety and Security Sciences  <a href="mailto:bene.viktoria.sl@gmail.com">bene.viktoria.sl@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-0319-4483">orcid.org/0000-0002-0319-4483</a>
Kristóf Zoltán haditechnikai mérnök Duplitec Kft. <a href="mailto:zoltankristof430716@gmail.com">zoltankristof430716@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-6549-9960">orcid.org/0000-0002-6549-9960</a>	Zoltán Kristóf Military Engineer Duplitec Ltd. <a href="mailto:zoltankristof430716@gmail.com">zoltankristof430716@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-6549-9960">orcid.org/0000-0002-6549-9960</a>
Dr. Elek Barbara egyetemi docens Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Biztonságtudományi és Kibervédelmi Intézet <a href="mailto:elek.barbara@bgk.uni-obuda.hu">elek.barbara@bgk.uni-obuda.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0001-7515-6374">orcid.org/0000-0001-7515-6374</a>	Barbara Elek, PhD Associate Professor Óbuda University Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering Institute of Safety Science and Cybersecurity <a href="mailto:elek.barbara@bgk.uni-obuda.hu">elek.barbara@bgk.uni-obuda.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0001-7515-6374">orcid.org/0000-0001-7515-6374</a>

# Tartalom

<b>JANKOVICS ISTVÁN, SZILÁGYI DÁVID, SZIROCZÁK DÁVID, FENDRIK ÁRMIN: UAV-sárkány és légcsavar együttműködésének vizsgálata</b>	<b>5</b>
<b>DÉNES SZILÁGYI: Determination of Ultralight Helicopter Test Loads</b>	<b>21</b>
<b>RIPSZÁM DÓRA: A pilóta nélküli légi járművek jogszerű használatához kapcsolódó büntetőjogi felelősség</b>	<b>43</b>
<b>MIHÁLYI GÉZA: Az UAV-pályatervezés kihívásai és lehetséges megoldásai</b>	<b>51</b>
<b>SÁNDOR ZSOLT: Pilóta nélküli légi járművek látótávolságon belüli és azon túli üzemeltetésének kihívásai</b>	<b>69</b>
<b>SÁNDOR SZABÓ, MICHAEL BODÓ, JÓZSEF NAGY-BOZSÓKY, ISTVÁN PINTÉR, MIHÁLY BAGÁNY, SZILVIA KORA, PÁL DUNAI: Physiological Challenges of Space Travel and Ground-Based Simulation Possibilities for Monitoring Brain Circulatory Changes: A Rheoencephalography Study</b>	<b>79</b>
<b>ZSOLT ISTVÁN FALTIN, KÁROLY TAMÁS BENEDA: Improvement of a Centrifugal Compressor Test Bench to Incorporate Variable Impeller-Inducer Bleed Air System as an Active Surge Control</b>	<b>103</b>
<b>LUCZ ZSOLT: AS-350B könnyű-többcélú helikopter a Magyar Légierőben</b>	<b>117</b>
<b>KARDOS KRISZTINA: Kitekintés a nemzetközi drónszabályozás világába</b>	<b>125</b>
<b>TÍMEA VAS, KRISZTIÁN KÁROLY, SZABOLCS ZSEMBERY, GÁBOR HORVÁTH: Comprehensive Study of Military and Civil Drone Applications: Assessing Key Areas of Significance and Future Prospects</b>	<b>149</b>
<b>VIKTÓRIA BENE, ZOLTÁN KRISTÓF, BARBARA ELEK: The DJI Dock 2 is a “Drone in a Box” to Enhance the Unmanned Guard Solution – Scientific Research with the Cooperation of Duplitec Ltd.</b>	<b>171</b>